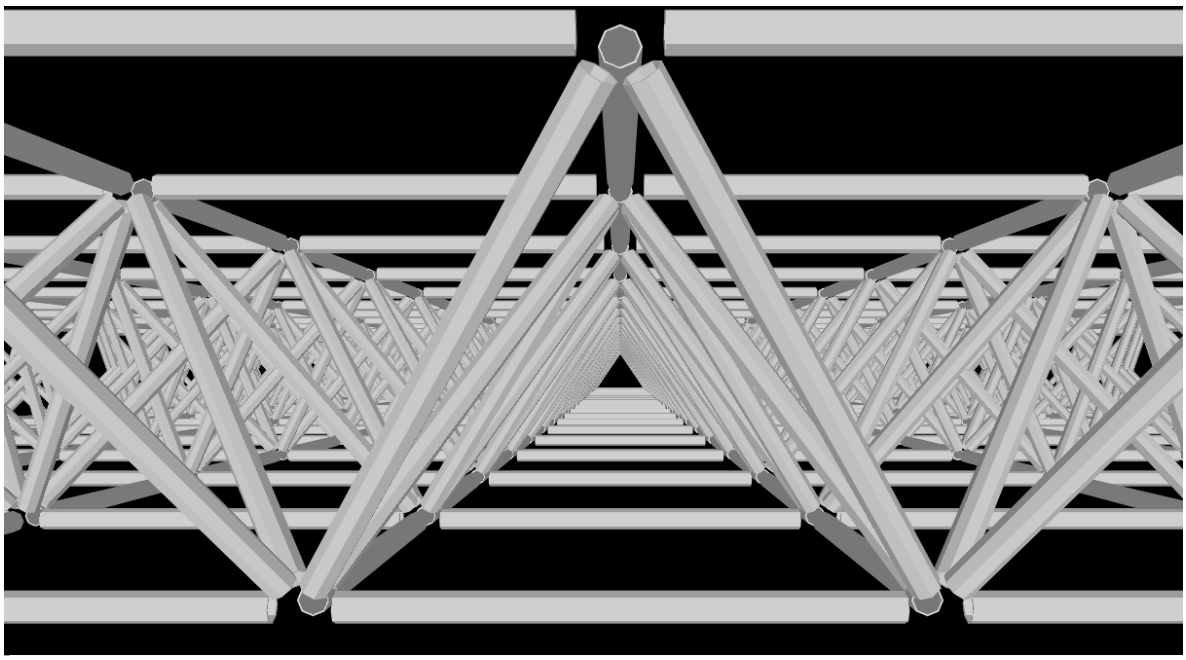
2009
VERSÃO

mCalc 3D

Programa para Geração, Análise e Dimensionamento de Estruturas Espaciais

Manual do Usuário



Copyright © **Stabile Engenharia Ltda** 1993-2011
http://www.stabile.com.br / (51) 3334 70 78

AVISOS IMPORTANTES

1. Responsabilidade do Usuário

O sistema **mCalc 3D** está sendo desenvolvido por profissionais qualificados e especializados.
As rotinas do sistema foram testadas simulando inúmeras possibilidades, por um número muito grande de profissionais.
Embora se tenha despendido um enorme esforço na elaboração e na validação dessas rotinas, é possível que sejam detectados problemas em casos ainda não testados.

A **STABILE ENGENHARIA LTDA.** agradecerá a indicação de eventuais erros observados quando da utilização do sistema.

Alerta-se que será da responsabilidade do usuário, além da verificação dos dados introduzidos, a verificação e aceitação dos resultados obtidos.

A proprietária desse sistema - **STABILE ENGENHARIA LTDA.** – seus distribuidores e representantes não poderão ser responsabilizados, a qualquer tempo, pelos resultados obtidos pelo sistema.

2. Condição de Licenciamento e estado de desenvolvimento do sistema

O sistema **mCalc 3D**, a seguir descrito, embora continue em constante desenvolvimento e aperfeiçoamento, está sendo licenciado do jeito em que ele está, não havendo nenhuma promessa formal, implícita ou explícita, de futuras atualizações ou de desenvolvimento de outras rotinas.

3. Proteção contra uso indevido

O sistema **mCalc 3D** está protegido contra uso indevido por meio de um *Rockey*.
Nunca confie nos resultados do cálculo de uma estrutura que tenha sido calculada sem que o *Rockey* tenha sido *plugado*. Certamente, serão obtidos resultados inconsistentes e não confiáveis.

4. Leitura do Manual do Usuário

O sistema **mCalc 3D** está muito bem documentado, com descrição desde sua instalação até a utilização das rotinas de geração, análise e dimensionamento das estruturas.
O **Manual do Usuário** (a referida documentação) foi redigido na forma de um *tutorial*, onde mais do que apresentar os tópicos do sistema, descrevem-se, passo a passo e com rica ilustração, os procedimentos a serem seguidos para se obter bons resultados na utilização desse sistema.

Por isso recomenda-se, **com veemência**, a leitura desse manual.
Certamente as respostas às dúvidas surgidas ou as soluções aos problemas observados na utilização do sistema terão resposta na leitura criteriosa do manual.
Lembrar que: quando tudo estiver perdido e nada parecer funcionar ... é hora de se ler o manual.

5. Manual Único do mCalc 3D

Tem-se um manual único para todo o sistema **mCalc 3D**. Dependendo da configuração e módulos licenciados, algumas características/rotinas descritas nesse manual não estarão disponíveis na instalação licenciada.

AGRADECIMENTOS

A **STABILE ENGENHARIA LTDA.** recebeu, desde o início do desenvolvimento desse sistema, a ajuda inestimável e desinteressada de inúmeras pessoas.

De público agradecemos essas valiosas contribuições, sem as quais seria muito mais difícil a elaboração do **mCalc 3D.**

Antecipadamente agradecemos as contribuições que ainda virão, aperfeiçoando o **mCalc 3D**, tornando-o uma imbatível ferramenta para projetos de estruturas metálicas.

.....
.....
Mostremos valor constância
Nessa ímpia e injusta guerra
Sirvam nossas façanhas
De modelo a toda a Terra!
De modelo a toda a Terra!
Sirvam nossas façanhas
De modelo a toda a Terra.
.....
.....
Mas não basta pra ser livre
Ser forte, aguerrido ou bravo
Povo que não tem virtude
Acaba por ser escravo!

(Trecho do Hino Riograndense)

CONTEÚDO

Capítulo 1. Uma Visão Geral

1.1 Introdução ..... 1 -2
1.2 O pacote mCalc 3D ..... 1 -4
1.3 Equipamento Necessário ..... 1 -5
1.4. Instalando o mCalc 3D ..... 1 -5
1.4.1 Problemas ao rodar o mCalc 3D ..... 1 -6
1.5. Iniciando a usar o mCalc 3D ..... 1 -6
1.6. Usando o mCalc 3D ..... 1 -8
1.7. Apresentação Geral do mCalc 3D ..... 1 -8
1.7.1 Módulo Home ..... 1 -8
1.7.2 Módulo Geometria ..... 1 -9
1.7.2.1 Desenhando a estrutura ..... 1 -9
1.7.2.2 Importação de arquivos *DXF* ..... 1 -9
1.7.2.3 Importação de uma subestrutura ..... 1 -10
1.7.3 Módulo Ações ..... 1 -11
1.7.4 Módulo Análise ..... 1 -12
1.7.5 Módulo Dimensionamento ..... 1 -12
1.7.6 Módulo Resultados ..... 1 -12
1.8. Comandos/Recursos gerais do mCalc 3D ..... 1 -13
1.8.1 Métodos de seleção ..... 1 -13
1.8.1.1 Seleção Individual ..... 1 -13
1.8.1.2 Por Retângulo/Janela ..... 1 -13
1.8.1.3 Por Retângulo/Crossing ..... 1 -13
1.8.1.4 Por Polígono ..... 1 -14
1.8.1.5 Por Fence ..... 1 -14
1.8.1.6 Tecla F9 ..... 1 -14
1.8.2 Métodos de deseleção ..... 1 -14
1.8.3 Ferramentas de precisão ..... 1 -15
1.8.3.1 Nó mais próximo ..... 1 -15
1.8.3.2 Ortho (F8) ..... 1 -15
1.8.4 Comandos Gerais ..... 1 -15
1.8.4.1 Exporta DXF ..... 1 -16
1.8.4.2 Zoom por janela ..... 1 -16
1.8.4.3 Mover tela ..... 1 -16
1.8.4.4 Zoom enquadrar ..... 1 -17
1.8.4.5 Copia Propriedades ..... 1 -17
1.8.4.6 Excluir ..... 1 -17
1.8.4.7 Numera nós ..... 1 -17
1.8.4.8 Numera barras ..... 1 -17
1.8.4.9 Exibe vinculação ..... 1 -17
1.8.4.10 Marca Nós ..... 1 -17
1.8.4.11 Eixos Globais ..... 1 -17
1.8.4.12 Eixos Locais ..... 1 -17
1.8.4.13 Exibe alertas ..... 1 -17
1.8.4.14 Impressão ..... 1 -18
1.8.4.15 Distância ..... 1 -19

1.8.4.16 Novo *layer* – Plano de referência ..... 1 -19
1.8.4.17 Selecionar Plano ..... 1 -19
1.8.4.18 Tipo de Estrutura ..... 1 -19
1.8.5 Sistemas de Coordenadas do mCalc 3D ..... 1 -20
1.8.5.1 Coordenadas retangulares..... 1 -21
1.8.5.2 Coordenadas absolutas ..... 1 -21
1.8.5.3 Coordenadas relativas ..... 1 -21
1.8.6 Manual *on line* do mCalc 3D..... 1 -21

Capítulo 2. Assistente de Projetos
2. Assistente de Projetos ..... 2 -2
2.1 Gerando-se Treliças Espaciais ..... 2 -3
2.2 Estrutura Espacial a partir de uma plana ..... 2 -9
2.3 Estruturas Diversas ..... 2 -12

Capítulo 3. Módulo da Geometria
3.1 Introdução ..... 3 -2
3.2 Comando Barra ..... 3 -2
3.3 Comando Propriedades ..... 3 -2
3.4 Comando Editar..... 3 -3
3.5 Comando Coordenadas ..... 3 -4
3.6 Comando Vinculação ..... 3 -5
3.7 Comando Dividir ..... 3 -6
3.8 Comando Unir Barras ..... 3 -6
3.9 Comando Criar Nó na Interseção ..... 3 -6
3.10 Comando Prolongamento ..... 3 -7
3.11 Comando *Extend* ..... 3 -8
3.12 Comando Copiar ..... 3 -9
3.13 Comando *Array* ..... 3 -10
3.14 Comando Espelhar ..... 3 -11
3.15 Comando Mover Barras ..... 3 -11
3.16 Comando Mover Nós ..... 3 -12
3.17 Comando Rotacionar ..... 3 -13
3.18 Comando Escalar ..... 3 -13
3.19 Comando Inverter ..... 3 -14
3.20 Comando Renumerar ..... 3 -14
3.21 Comando Nós Semi-Rígidos ..... 3 -15
3.22 Comando Descontinuidades ..... 3 –16
3.23 Comando Prédios ..... 3 –16
3.24 Edição de *Layers* ..... 3 -18
3.24.1 Aplicando *Layers* às barras ..... 3 -19

Capítulo 4. Módulo Prédios
4.1 Introdução ..... 4 -2
4.2 Geração Automática de Pavimentos ..... 4 -3
4.3 Comandos Gerais do Módulo Pavimentos..... 4 -6
4.3.1 Comando Adicionar Pavimentos ..... 4 -6
4.3.2 Comando Aplicar ..... 4 -6
4.3.3 Comando Excluir Pavimentos ..... 4 -7

4.3.4 Comando Importar DXF ..... 4 -7
4.3.5 Comando Copiar Tipo de Pavimento ..... 4 -7
4.3.6 Comando Propriedades ..... 4 -8
4.3.7 Comando Importar Pavimento do mCalc 2D ..... 4 -8
4.3.8 Comando Apagar Tudo ..... 4 -8
4.3.9 Comando Gerador ..... 4 -8
4.4 Gerando Pavimentos ..... 4 -9
4.4.1 Ferramentas para Geração de Eixos ..... 4 -9
4.4.2 Ferramentas para Gerar e Editar Vigas ..... 4 -13
4.4.3 Ferramentas para Gerar e Editar Paredes ..... 4 -14
4.4.4 Ferramentas para Gerar e Editar Lajes ..... 4 -15
4.4.5 Ferramentas para Inserir Pilares ..... 4 -16
4.5 Módulo Pilares. ..... 4 -17
4.6 Módulo Vento. ..... 4 -17

Capítulo 5. Módulo Ações
5.1 Introdução ..... 5 -2
5.2 Comando Ação Concentrada ..... 5 -2
5.3 Comando Valor A.C. ..... 5 -3
5.4 Comando Ação Distribuída ..... 5 -3
5.5 Comando Valor A.D. ..... 5 -4
5.6 Comando Copiar Ação ..... 5 -5
5.7 Comando Copiar Estado ..... 5 -5
5.8 Comando Definição dos Estados de Ações ..... 5 -5
5.9 Comando Editar Cargas Distribuídas ..... 5 -6

Capítulo 6. Módulo Análise
6.1 Introdução ..... 6 -2
6.2 Combinações de Ações ..... 6 -3
6.3 Envoltória dos Máximos e Mínimos ..... 6 -5

Capítulo 7. Módulo Dimensionamento
7.1 Introdução ..... 7 -2
7.2 Comando Dimensionar ..... 7 -3
7.3 Comando Exibir % ..... 7 -19
7.4 Comando Exibir DIM ..... 7 -19
7.5 Comando Exibir Cores ..... 7 -19
7.6 Comando Auto DIM ..... 7 -19
7.7 Comando Planilha ..... 7 -22
7.8 Comando Copiar Perfis ..... 7 -23
7.9 Comando Travamento Lateral ..... 7 -23
7.10 Comando Combinar Barras ..... 7 -27
7.11 Perfis Compostos ..... 7 -28
7.12 Perfis Duplos Isolados ..... 7 -32

Capítulo 8. Módulo Resultados
8.1 Introdução ..... 8 -2
8.2 Relatório de Análise ..... 8 -2
8.3 Relatório de Dimensionamento ..... 8 -4

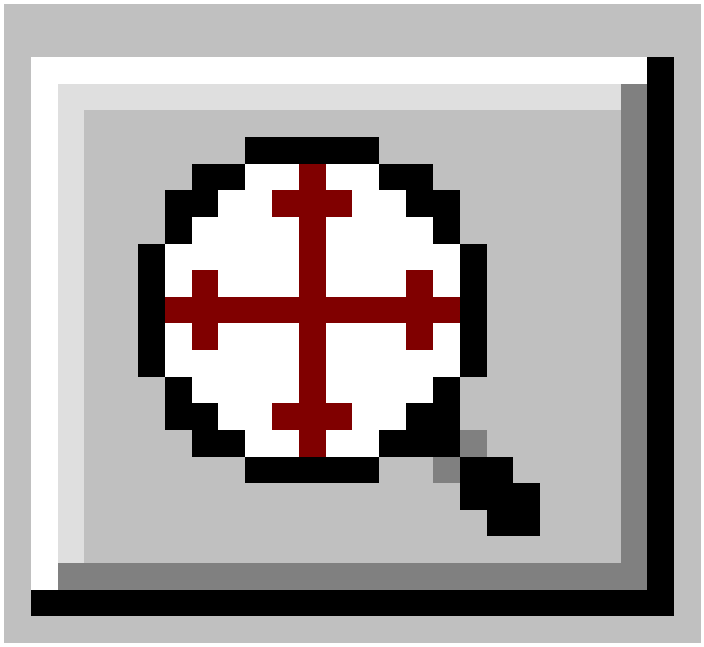
8.4 Comando Diagramas ..... 7 -5

Anexo A
A.1 Exemplo 1 ..... A -2

Anexo B
B.1 Exemplo 2 ..... B -2

CAPÍTULO 1.

mCalc 3D 2009 - UMA VISÃO GERAL



CAPÍTULO 1. mCalc 3D 2009 - UMA VISÃO GERAL

1.1 INTRODUÇÃO

A **STABILE ENGENHARIA LTDA**. é uma empresa projetista de estruturas metálicas, atuando no mercado de Engenharia Estrutural desde OUT/1975, com trabalhos em vários países da América do Sul, tem o orgulho de apresentar o sistema que vai revolucionar a confecção de projetos de estruturas metálicas no mercado nacional: o sistema **mCalc 3D 2009**.

A tônica do **mCalc 3D 2009**, totalmente projetado e desenvolvido pela **STABILE®**, é que esse sistema tem a mesma facilidade de uso que o programa **mCalc** que já é sucesso nacional: fantástica geração automática de estruturas espaciais, um editor gráfico intuitivo, facílimo ambiente para declaração de ações, um *solver* muito rápido e um módulo de **Dimensionamento** imbatível.

Lembra-se que esse programa vem suprir uma carência histórica no mercado: a ausência de softwares direcionados para estruturas espaciais de aço que sejam adequados à realidade da cultura da construção metálica nacional.

Esse sistema, desenvolvido por quem projeta estruturas metálicas desde SET/71, é uma poderosa ferramenta na confecção de projetos de Estruturas Metálicas e que é usada, pela **STABILE®**, para a confecção dos projetos estruturais encomendados por nossos clientes.

Essa carência, aliada às solicitações dos clientes em obter respostas ágeis e consistentes, determinou a necessidade da **STABILE®** em desenvolver o sistema **mCalc 3D 2009**.

Programas para análise e dimensionamento de estruturas de barras são muito úteis quando se trabalha com projetos estruturais.

O sistema **mCalc 3D 2009** é um conjunto de rotinas para a geração, análise e dimensionamento de estruturas espaciais.

Citam-se algumas características que foram implementadas no sistema:

• Módulo GEOMETRIA E AÇÕES (Entrada de Dados)

1. Editor gráfico realmente 3D interativo com comandos semelhantes aos do AutoCAD;

2. Sistema de *layers* semelhantes ao do AutoCAD, para manipulação de grupos de barras da estrutura;

3. Geração automática de dados de estruturas mais usadas em obras correntes:

- Geometria e propriedades das barras;

- Ações considerando vários estados de ações: peso próprio, ação permanente, sobrecarga, vento transversal e longitudinal e pressão interna;

- Cálculo Automático das ações do Vento;

4. Importação da geometria da estrutura a partir de um desenho gerado no AutoCAD.

• Módulo de ANÁLISE

- Pelo método da Rigidez Direta, montagem da matriz de rigidez com reordenação nodal para otimização da semilargura de banda e solução do sistema de equações por Gauss otimizado;

- 35 combinações de ações, considerando a ponderação correspondente a cada estado, visando obterem-se as solicitações de cálculo para o dimensionamento.

• Módulo DIMENSIONAMENTO

O módulo **Dimensionamento** sistematiza as orientações das normas NBR 14762:2001 para perfis formados a frio e da NBR 8800:2008 para perfis laminados ou soldados.

Ao nível da interação programa-usuário citam-se:

• Dimensionamento paramétrico **totalmente** interativo da estrutura, utilizando-se qualquer combinação dos perfis formados a frio/cantoneiras laminadas/perfis soldados adotados.

• Comando **AutoDimensionar** para dimensionamento automático que dimensiona a estrutura ou um grupo escolhido de barras pelo critério do menor peso.

• Escolha do perfil e suas dimensões no momento do dimensionamento.

• Fácil inclusão e remoção de perfis no banco de dados do programa.

• A cada barra dimensionada o programa informa a *performance* do perfil testado, i.e., a relação entre a solicitação e a resistência do perfil testado, possibilitando, assim, o menor consumo de aço possível da estrutura (fácil otimização da estrutura).

• Módulo RESULTADOS

1. Geração de relatório com dados da geometria, ações e da tabela de envoltória de máximos e mínimos, deslocamentos, solicitações e reações de apoio, para as combinações especificadas.

2. Relatório do Dimensionamento gerando exibindo a tabela de máximos e mínimos com os perfis adotados e *performances* de cada perfil.

3. Desenho da Deformada e dos Diagramas de Solicitações da estrutura para cada combinação de ações.

• Integração com outros programas

1. Exportação (DXF) do desenho – com numeração de nós, e/ou barras ou com marcação dos perfis adotados.

2. Integração com o programa de estruturas mistas, m**Calc AC 2009**, as vigas mistas são declaradas no módulo de **Prédios** e dimensionadas no módulo **Dimensionamento** do m**Calc 3D 2009**.

1.2. O PACOTE m**Calc 3D 2009**

O pacote do sistema m**Calc 3D 2009** é composto por:

- Embalagem
- CD de instalação
- Manual do Usuário
- *Rockey*
- *Mouse Pad*

Certifique-se que todos esses itens constam na documentação remetida. Em caso de algum problema contate a **STABILE** e relate o problema.

O sistema m**Calc 3D 2009** é composto por vários módulos:

- **Assistente de Projeto**: para geração automática de estruturas pré-engenheiradas
- **Geometria**: editor gráfico/modelador da estrutura

· **Prédios**: pré-processador para pavimentos metálicos

· **Ações**: editor (*input*) de ações

· **Análise**: módulo de análise da estrutura

· **Dimensionamento**: módulo de dimensionamento paramétrico da estrutura

· **Resultados**: relatórios da *Análise* e *Dimensionamento e diagramas do esforços*.

1.3. EQUIPAMENTO NECESSÁRIO

Por ter sido desenvolvido no ambiente *Windows* o sistema **mCalc 3D 2009** rodará em qualquer computador que utilize o *Windows 95, 98 , ME, 2000, NT, XP* ou *Vista* entretanto sugere-se instalar o sistema num equipamento razoavelmente rápido (Pentium III ou equivalente) com boa placa de vídeo (mínimo 32MB), monitor de boa resolução (mínimo 800x600 pixels) e sobretudo com memória mínima de 128 MB.

1.4. INSTALANDO O mCalc 3D 2009

A instalação do sistema **mCalc 3D 2009** é simples e é conduzida pelo programa instalador:

- Coloca-se o CD no *driver*;

- O programa de instalação rodará automaticamente;

- O instalador sugerirá o nome da pasta onde o programa será instalado. Caberá ao usuário aceitar ou não a sugestão.

Todos os módulos do sistema **mCalc 3D 2009** são protegidos contra uso indevido por meio de um *Rockey*.

Juntamente com o CD de instalação do programa vem a instalação do *Driver do Rockey*. **É importante que quando proceder a instalação deste *driver* o *Rockey* não esteja *plugado* no computador.**

Nunca confie nos resultados do cálculo de uma estrutura que tenha sido calculada sem que o *Rockey* tenha sido *plugado*.

Certamente, serão obtidos resultados inconsistentes e não confiáveis.

1.4.1 Problemas ao rodar o mCalc 3D 2009

Ao rodar o **mCalc 3D 2009** caso seja exibida uma mensagem de erro - "*Ocorreu um erro no* **mCalc 3D**" - ao se entrar no módulo **Análise** deve-se:

- Verificar se o *Rockey* está perfeitamente *plugado*

- Verificar os dados de entrada do modelo

- Verificar se a pasta onde o programa foi instalado (provavelmente: *C:\Arquivos de Programas\Stabile\mCalc3D 2009*) está liberada para gravação

Caso ocorra algum problema na instalação, ou mesmo ao rodar o **mCalc 3D 2009** entre em contato com a **STABILE** e relate o problema.

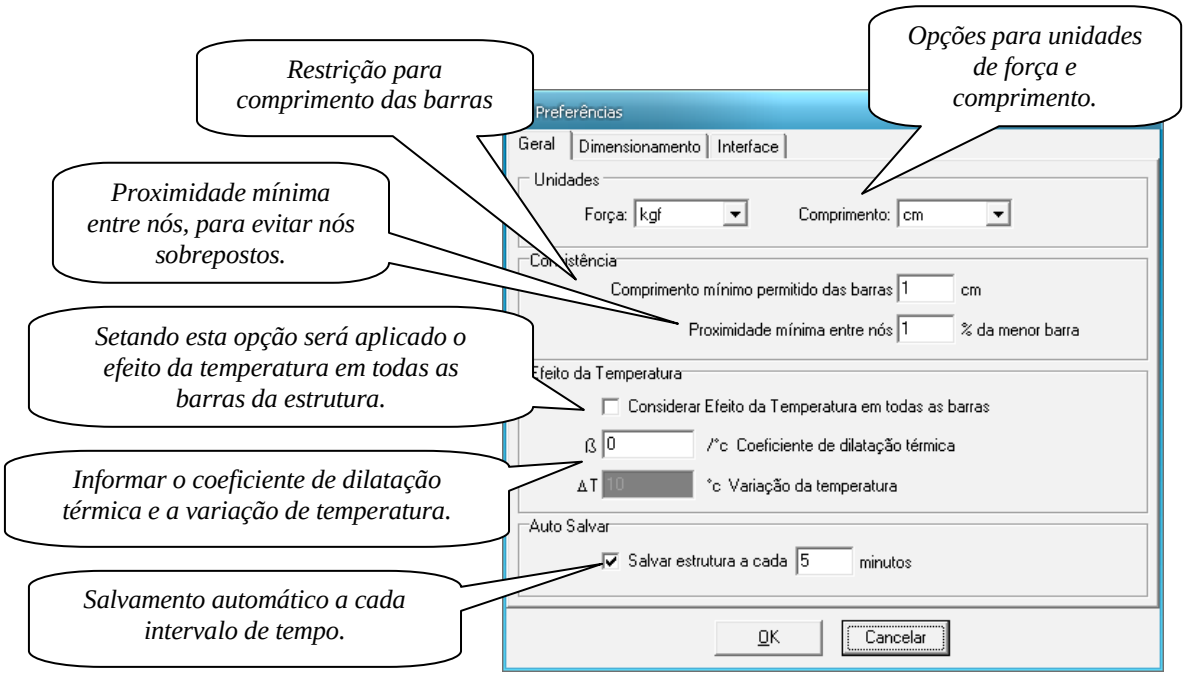
1.5. INICIANDO A USAR O mCalc 3D 2009

Após a instalação do programa, para chamar-se o **mCalc 3D** basta clicar-se sobre o ícone

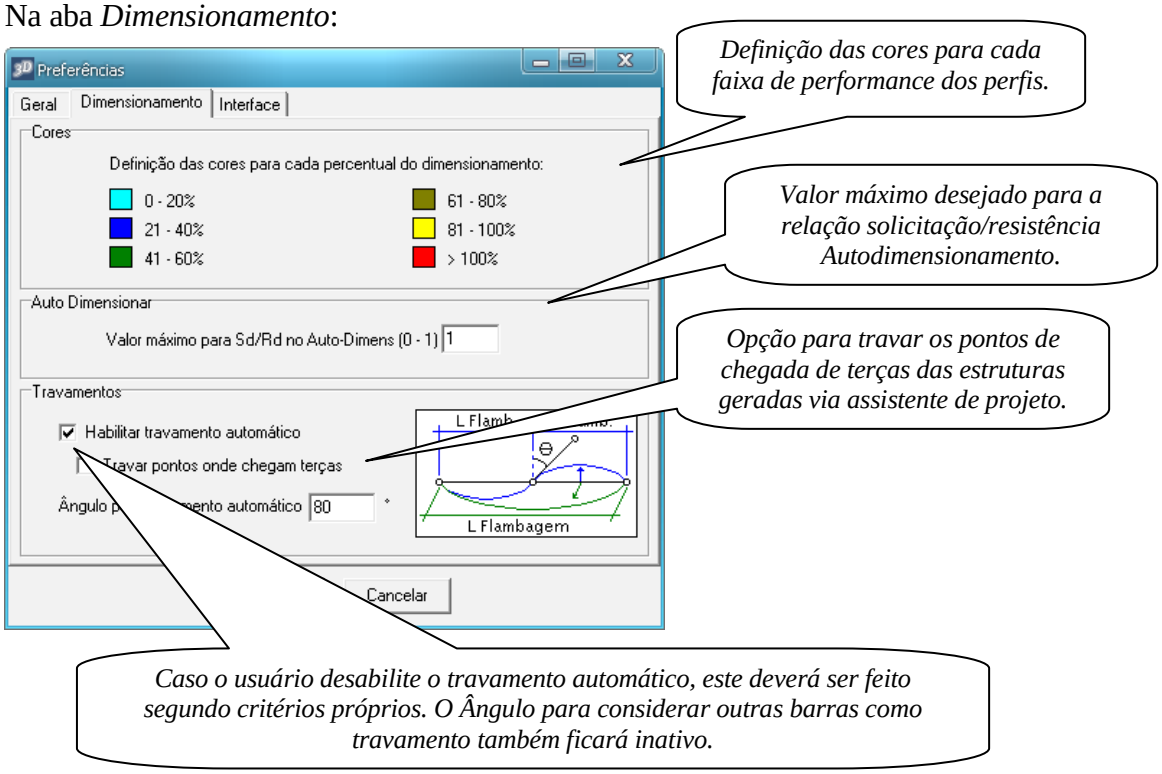
criado pela instalação do programa .

Entretanto, antes de seu uso, sugere-se que seja processada uma personalização do programa. Chamando-se o menu *Exibir ..... Preferências* acessam-se as configurações do **mCalc 3D 2009** que tem várias opções:

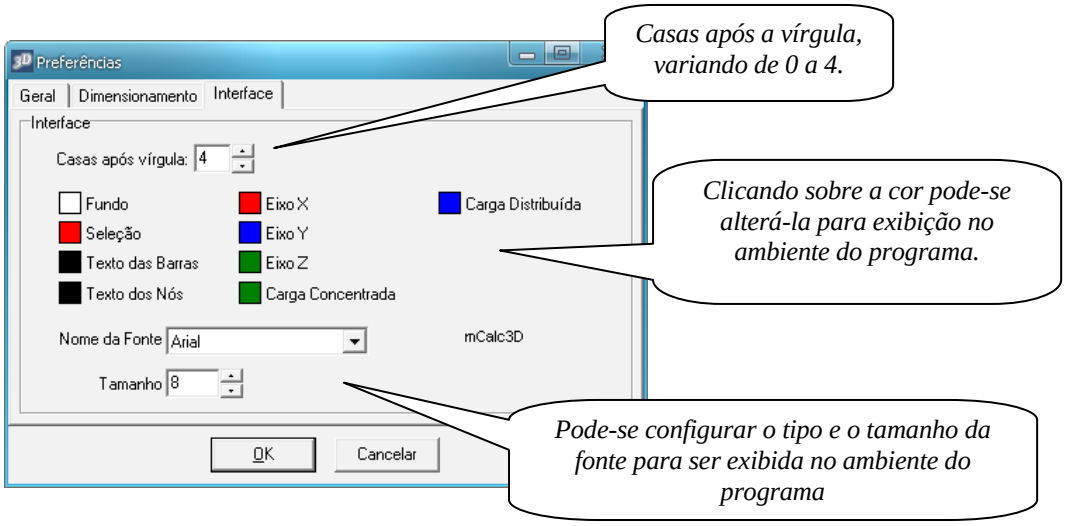
Na aba *Geral*:


Restrição para comprimento das barras
Opções para unidades de força e comprimento.
Proximidade mínima entre nós, para evitar nós sobrepostos.
Setando esta opção será aplicado o efeito da temperatura em todas as barras da estrutura.
Informar o coeficiente de dilatação térmica e a variação de temperatura.
Salvamento automático a cada intervalo de tempo.
Preferências
Geral
Dimensionamento
Interface
Unidades
Força: kgf
Comprimento: cm
Comprimento mínimo permitido das barras 1 cm
Proximidade mínima entre nós 1 % da menor barra
Considerar Efeito da Temperatura em todas as barras
ß 0 /°c Coeficiente de dilatação térmica
ΔT 10 °c Variação da temperatura
Auto Salvar
Salvar estrutura a cada 5 minutos
OK
Cancelar

Na aba *Dimensionamento*:


Definição das cores para cada faixa de performance dos perfis.
Valor máximo desejado para a relação solicitação/resistência Autodimensionamento.
Opção para travar os pontos de chegada de terças das estruturas geradas via assistente de projeto.
Caso o usuário desabilite o travamento automático, este deverá ser feito segundo critérios próprios. O Ângulo para considerar outras barras como travamento também ficará inativo.
Preferências
Geral
Dimensionamento
Interface
Cores
Definição das cores para cada percentual do dimensionamento:
0 - 20%
21 - 40%
41 - 60%
61 - 80%
81 - 100%
> 100%
Auto Dimensionar
Valor máximo para Sd/Rd no Auto-Dimens (0 - 1) 1
Travamentos
Habilitar travamento automático
Travar pontos onde chegam terças
Ângulo p ento automático 80
L Flambagem
Cancelar

Na aba *Interface*:



1.6. USANDO O mCalc3D 2009

Ao se carregar o programa, abre-se um arquivo em branco, no qual será gerado o modelo da estrutura. Este pode ser criado de três formas: utilizando o assistente de projetos, importando um arquivo *DXF* com o desenho unifilar da estrutura ou desenhando-a através das ferramentas gráficas disponíveis no módulo Geometria do **mCalc 3D**. Como criar estruturas utilizando-se cada uma das maneiras citadas será visto posteriormente.

1.7. APRESENTAÇÃO GERAL DO mCalc 3D 2009

O sistema **mCalc 3D** é subdividido nos seguintes módulos:

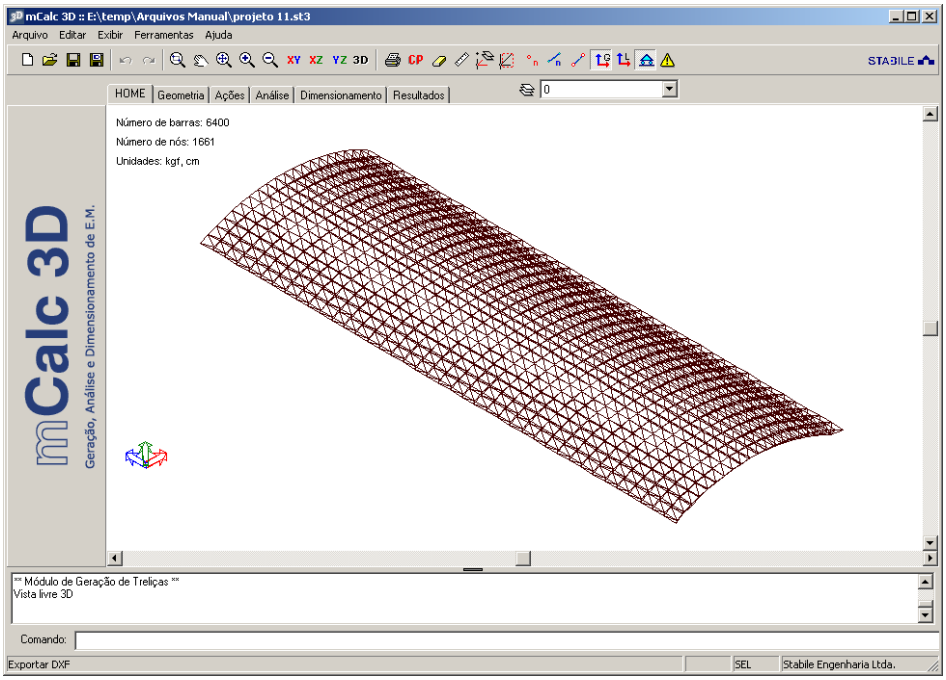
- **Home**,
- **Geometria**,
- **Ações**,
- **Análise**,
- **Dimensionamento** e
- **Resultados**.

Cada módulo é independente do outro, mas todos estão integrados, entre si, pelo sistema.

Apresentam-se, a seguir, os diversos módulos do **mCalc 3D**:

1.7.1 Módulo HOME

Esse módulo é o de abertura do sistema. Caso se esteja abrindo um arquivo já existente, o módulo **Home** publicará os dados principais da estrutura: número de nós, de barras, e as unidades – de comprimento e de força – adotadas para essa estrutura.



1.7.2 Módulo GEOMETRIA

Esse é o módulo da **Entrada de Dados Geométricos** do **mCalc 3D**, e também onde se encontra o assistente de projeto: quase sempre vai se ter que passar por esse módulo.

Os diversos comandos e recursos da **Geometria** estão descritos no Capítulo 3.

Nesse item vai se apresentar as diversas formas de entrada de dados geométricos que o sistema disponibiliza:

1.7.2.1 Desenhando a Estrutura

Usando o editor gráfico do **mCalc 3D** desenha-se estrutura com recursos semelhantes aos dos programas *CAD*.

Há a possibilidade de se editar coordenadas dos nós e conetividades das barras por

intermédio de planilhas.

1.7.2.2 Importação de arquivos *DXF*

Desenha-se a estrutura com algum programa que gere arquivos padrão *DXF* tomando os cuidados de usar as ferramentas de precisão, não desenhar linhas sobrepostas, garantir que as linhas concorrer no ponto do nó e de gerar o desenho na unidade de comprimento que se vai adotar no cálculo.

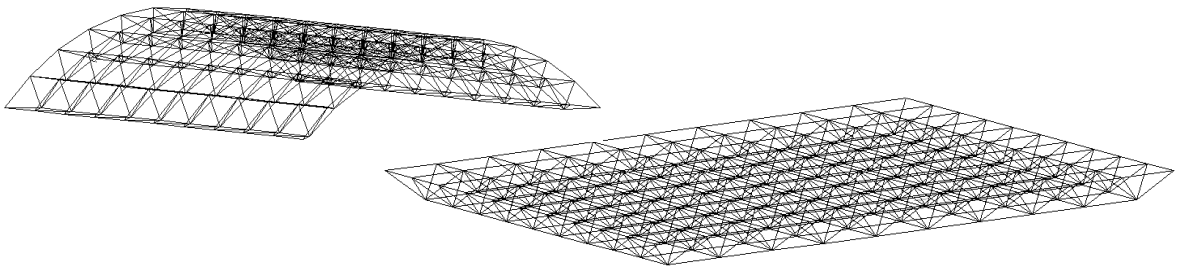
1.7.2.3 Importação de uma subestrutura

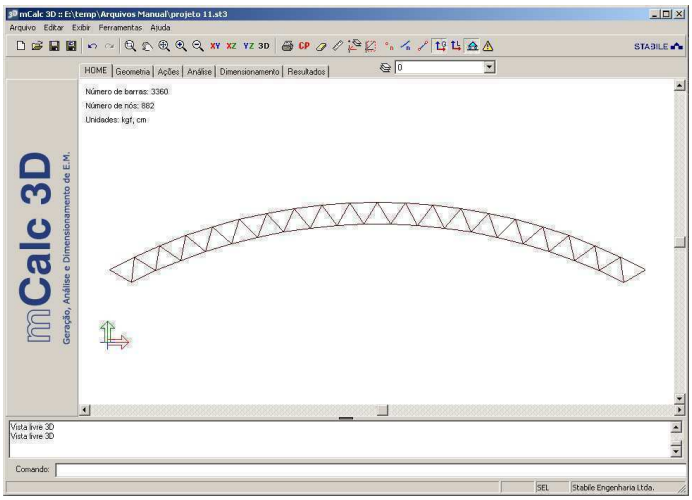
Esse recurso é muito poderoso, embora não se constitua, propriamente, numa maneira nova de entrada de dados.

A importação de subestruturas permite que se vá montando/modelando uma estrutura complexa a partir de estruturas mais simples.

Um exemplo é o caso de se modelar uma cobertura em treliça espacial em que o vão central seja arqueado, e os vãos laterais sejas planos.

Utilizando o gerador automático, criam-se dois arquivos, um deles com a estrutura do trecho arqueado e o outro com a estrutura plana, conforme mostram os desenhos abaixo.



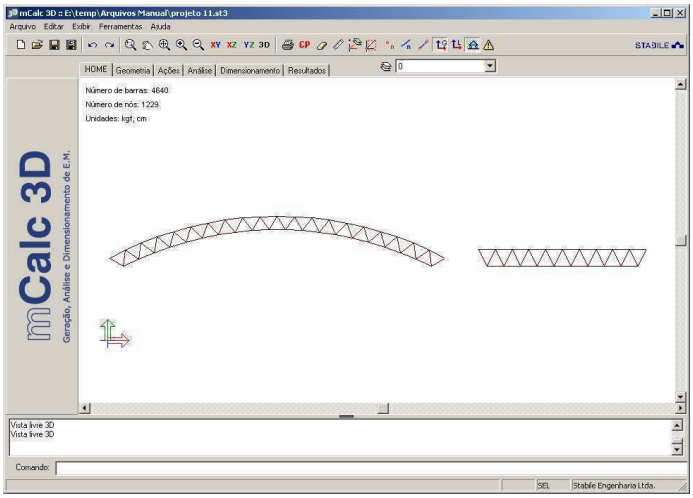


Com uma das duas estruturas carregadas, ativa-se o comando Importa subestrutura no menu Arquivo - Importar.

Será exibida a janela padrão do *Windows* para abertura de arquivos.

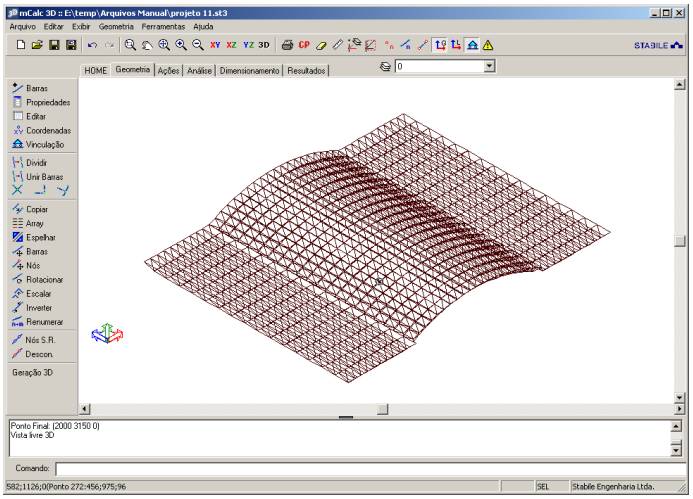
Declara-se o nome da estrutura (subestrutura) a ser importada.

O **mCalc 3D** colocará o desenho da sub-estrutura importada a direita do desenho da estrutura "principal", conforme abaixo.



A subestrutura aparecerá na tela e permanecerá selecionada para ser manipulada – mover, copiar, espelhar.... .

A partir desse momento tem-se liberdade para continuar o trabalho de edição do desenho da maneira usual do **mCalc 3D**.



No caso desse exemplo se deve duplicar o semi-vão plano, espelhando a cópia, e depois mover os trechos planos, posicionando-os da forma desejada com relação ao vão central arqueado.

Observa-se que a importação de subestrutura pode ser substituída se o usuário a partir de um arquivo aberto chamar a geração automática, ter-se-á o mesmo efeito sem a necessidade de criar um novo arquivo.

1.7.3 Módulo AÇÕES

O sistema admite que se declare ações concentradas nos nós e ações distribuídas sobre as barras.

Embora o sistema não aceite ações distribuídas em barras de treliça, através da geração automática o programa concentrará as ações nos nós, e que não se terá momentos fletores nem esforços cortantes ao longo dessas barras. Para os demais tipos de barras aceitar-se-á carga do tipo distribuída.

1.7.4 Módulo ANÁLISE

Embora seja muito importante dentro de qualquer sistema, pelo número de operações realizadas e pelos resultados que ele oferece, o módulo de **Análise** pouco interage com o usuário, limitando-se a solicitar as combinações de ações a serem adotadas.

1.7.5 Módulo DIMENSIONAMENTO

No módulo **Dimensionamento** se estabelece o perfil a ser adotado em determinada(s) barra(s) da estrutura.

Em realidade a determinação das dimensões de um perfil é feita por **verificação**: adota-se um perfil, declaram-se suas dimensões, tipo de aço e orientação e o **mCalc 3D** calcula as resistências desse perfil e as compara com as solicitações da barra que se está dimensionando.

A verificação do perfil é feita, então, da seguinte maneira:

Dados: as solicitações de cálculo, o perfil a ser adotado (forma e dimensões) e os comprimentos de flambagem da barra (**mCalc 3D** "*lê*" as solicitações de cálculo - resultado da **Análise** - e os comprimentos das barras, ficando por conta do usuário a escolha do perfil e suas dimensões).

Calcular: as resistências de cálculo e comparar com as solicitações de cálculo. As respostas oferecidas pelo **mCalc 3D** são os valores das resistências de cálculo do perfil e os percentuais de *performance* do perfil frente às solicitações.

1.7.6 Módulo RESULTADOS

O módulo **Resultados** publica os relatórios completos da **Análise** e do **Dimensionamento**, além de oferecer o desenho da deformada das diversas combinações de ações.

Os relatórios são arquivos tipo texto e podem ser lidos por qualquer editor de texto: .RES - relatório da **Análise** e .DIM - relatório do **Dimensionamento**.

Os relatórios são oferecidos e publicados pelo módulo **Resultados** em formato .RTF para serem lidos por editores de texto mais sofisticados.

Dentro do próprio **mCalc 3D** os relatórios são apresentados num editor de texto que permite alguma edição e a impressão dos mesmos.

1.8. COMANDOS/RECURSOS GERAIS DO mCalc 3D 2009

O **mCalc 3D** possui alguns comandos que são gerais e que podem ser usados em todos os módulos do sistema.

1.8.1 Métodos de Seleção

O sistema disponibiliza vários métodos de seleção:

1.8.1.1 Seleção individual

Faz-se a seleção individual clicando-se, com o *mouse*, sobre a entidade – nó ou barra.

Essa seleção pode ser aplicada a um conjunto de entidades repetindo-se a seleção: clicando-se com o botão esquerdo do mouse sobre cada entidade.

1.8.1.2 Por Retângulo/Janela

Faz-se a seleção por janela abrindo-se um retângulo, da esquerda para a direita sobre um conjunto de entidades. Nesse método só serão selecionadas as entidades que estiverem integralmente dentro da janela/retângulo.

1.8.1.3 Por Retângulo/"*Crossing*"

Faz-se a seleção por "*crossing*" abrindo-se um retângulo, da direita para a esquerda sobre um conjunto de entidades.

Nesse método serão selecionadas as entidades que estiverem dentro da janela e as barras que forem cortadas pelo limite da janela, i.e. que estiverem parcialmente dentro do retângulo/janela de seleção.

1.8.1.4 Por Polígono

Pressionando-se a tecla **F9** o **mCalc 3D** troca o tipo de seleção para seleção por polígono onde é permitido que se desenhe um polígono envolvendo as entidades que se quer selecionar.

O polígono de seleção deverá ser fechado, i.e. o ponto final do polígono deve coincidir com o ponto inicial.

Serão selecionadas as entidades que estiverem integralmente dentro do polígono.

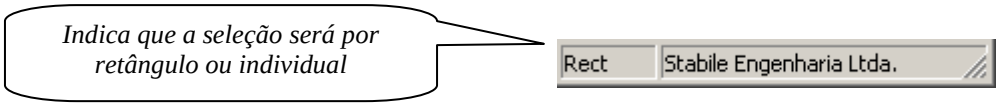
1.8.1.5. Por "*Fence*"

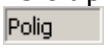
Pressionando-se, novamente, a tecla **F9** o **mCalc 3D** permite que se faça a seleção por meio de uma linha que corta a entidade selecionada: é a seleção por "*fence*". Essa linha de seleção pode desenhada, indistintamente, da esquerda para a direita ou da direita para a esquerda. Serão selecionadas as barras que forem cortadas pela linha.

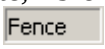
1.8.1.6. Tecla *F9*

Recapitulando-se o funcionamento da tecla F9:

Por *default* os tipos de seleção adotados pelo **mCalc 3D** serão a seleção individual ou por retângulo. A linha de *status* do programa, barra situada no inferior da tela, terá a seguinte aparência:



Pressionando-se a tecla **F9** o tipo de seleção passa a ser *Por Polígono* e na barra de *status* será exibido o seguinte: 

Pressionando, novamente, **F9** o tipo de seleção passa a ser *Por Fence* e na barra de status será exibido o seguinte: 

Pressionando-se, de novo, a tecla **F9** o tipo de seleção volta a ser *Por Retângulo* onde a seleção pode ser também *Individual*.

1.8.2 Métodos de Deseleção

Uma vez que a barra tenha sido selecionada, ao se repetir a seleção, por qualquer método que seja, ela será deselecionada.

Pressionando-se a tecla **<Esc>** também é possível deselecionar as entidades.

1.8.3 Ferramentas de Precisão

1.8.3.1 Nó mais próximo

Ao se modelar/desenhar uma estrutura, o sistema **mCalc 3D** atrairá, sempre, a extremidade final da barra que estiver sendo desenhada para o nó mais próximo.

1.8.3.2 Ortho (F8)

Um dos recursos de precisão disponíveis é o desenho ortogonal: pressionando-se a tecla **F8** ativa-se o comando **Ortho**, conduzindo o desenho das barras paralelos aos eixos de coordenadas do usuário (UCS) no plano de visualização em que se está trabalhando.

No caso de se ter trocado a posição dos eixos, o editor gráfico do **mCalc 3D** desenhará barras paralelas a essa nova posição de eixos.

1.8.4 Comandos Gerais

No *menu* principal do sistema tem-se o *menu* Arquivo com os seguintes comandos gerais:

Novo: inicia o trabalho com um novo modelo estrutural.

Abrir: inicia o trabalho com um arquivo já existente.

Salvar: salva todos os dados da estrutura.

Salvar Como: salva todos os dados da estrutura num arquivo com outro nome. Essa é uma maneira de copiar dados de uma estrutura.

Importar: permite a importação de arquivos padrão *DXF* e a importação de subestrutura,

já descritos nos itens 1.7.2.2 e 1.7.2.3, respectivamente.

Exportar: exporta o desenho da estrutura, utilizando o formato *DXF*.

Esse comando é amplo e permite a exportação do desenho do ***jeito que ele está***:

- caso a estrutura estiver desenhada com nós numerados, será exportado o desenho com numeração de nós;

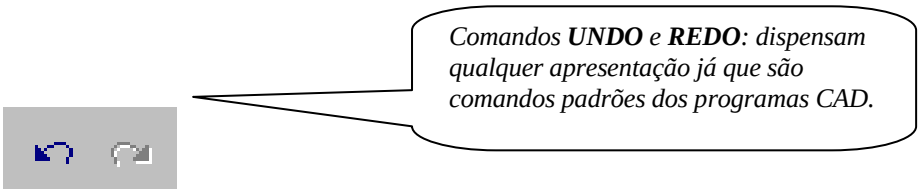
- caso a estrutura estiver desenhada com barras numeradas, será exportado o desenho com numeração das barras;

- caso a estrutura estiver desenhada com nós e barras numerados, será exportado o desenho com numeração de nós e barras;

- caso a estrutura estiver desenhada exibindo os perfis adotados (no módulo **Dimensionamento**) será exportado o desenho com os perfis adotados.

Os outros recursos/comandos gerais do **mCalc 3D** encontram-se na barra de ferramentas localizada abaixo do *menu* principal:

Além dos três primeiros botões à esquerda, que são padrões do *Windows* para inicialização, abertura e gravação de arquivos, já descritos acima, tem-se:



1.8.4.1 Exporta *DXF*: trata-se de um atalho para o comando de exportação de arquivos no padrão *DXF*, descrito anteriormente, permite imprimir a estrutura com várias opções de impressão.

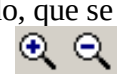
1.8.4.2 Zoom por Janela: aumenta o desenho enquadrando-o à janela aberta pelo usuário.

Esse comando pode ser ativado, também, pelo *prompt* do **mCalc 3D** digitando-se ***Z*** e <ENTER> .

Esse comando, que se assemelha ao *Zoom Window* do AutoCAD, permite que se tenha

Zoom Mais e *Zoom Menos* clicando-se com o botão esquerdo ou direito do *mouse* respectivamente

1.8.4.3 Mover Tela: movimenta o desenho em relação à janela de visualização. Esse comando pode ser ativado, também, pelo *prompt* do **mCalc 3D** digitando-se ***P*** e <ENTER> .

Esse comando, que se assemelha ao *Pan* do AutoCAD, permite que se tenha *Zoom Mais* e *Zoom Menos*  clicando-se com o botão esquerdo ou direito do *mouse*.

1.8.4.4 Zoom Enquadrar: enquadra todo o desenho na janela de visualização. Esse comando assemelha-se ao *Zoom Extended* do AutoCAD.

1.8.4.5 Copia Propriedades: copia as propriedades das barras.

Esse é um comando muito útil, pois ele terá múltipla função:

• No módulo **Geometria** ele copiará as propriedades de uma barra para um conjunto de barras selecionadas: serão copiados o tipo de barra, a constante elástica e as características geométricas.

• No módulo **Ações** serão copiadas as ações distribuídas de uma barra para o conjunto de barras selecionadas.

• No módulo **Dimensionamento** ele copiará o dimensionamento adotado de uma barra para um conjunto de barras selecionadas. Essa cópia será feita calculando, barra a barra, a *performance* do perfil.

1.8.4.6 Excluir: apaga (exclui) barras ou ações distribuídas ou concentradas.

1.8.4.7 Numera Nós: a qualquer momento (dentro de qualquer módulo) numera os nós.

1.8.4.8 Numera Barras: a qualquer momento (dentro de qualquer módulo) numera as barras.

1.8.4.9 Exibe Vinculação: exibe a vinculação adotada na estrutura.

1.8.4.10 Marca Nós: exibe os nós por intermédio de um pequeno círculo na posição do nó.

1.8.4.11 Eixos Globais: exibe os eixos globais da estrutura.

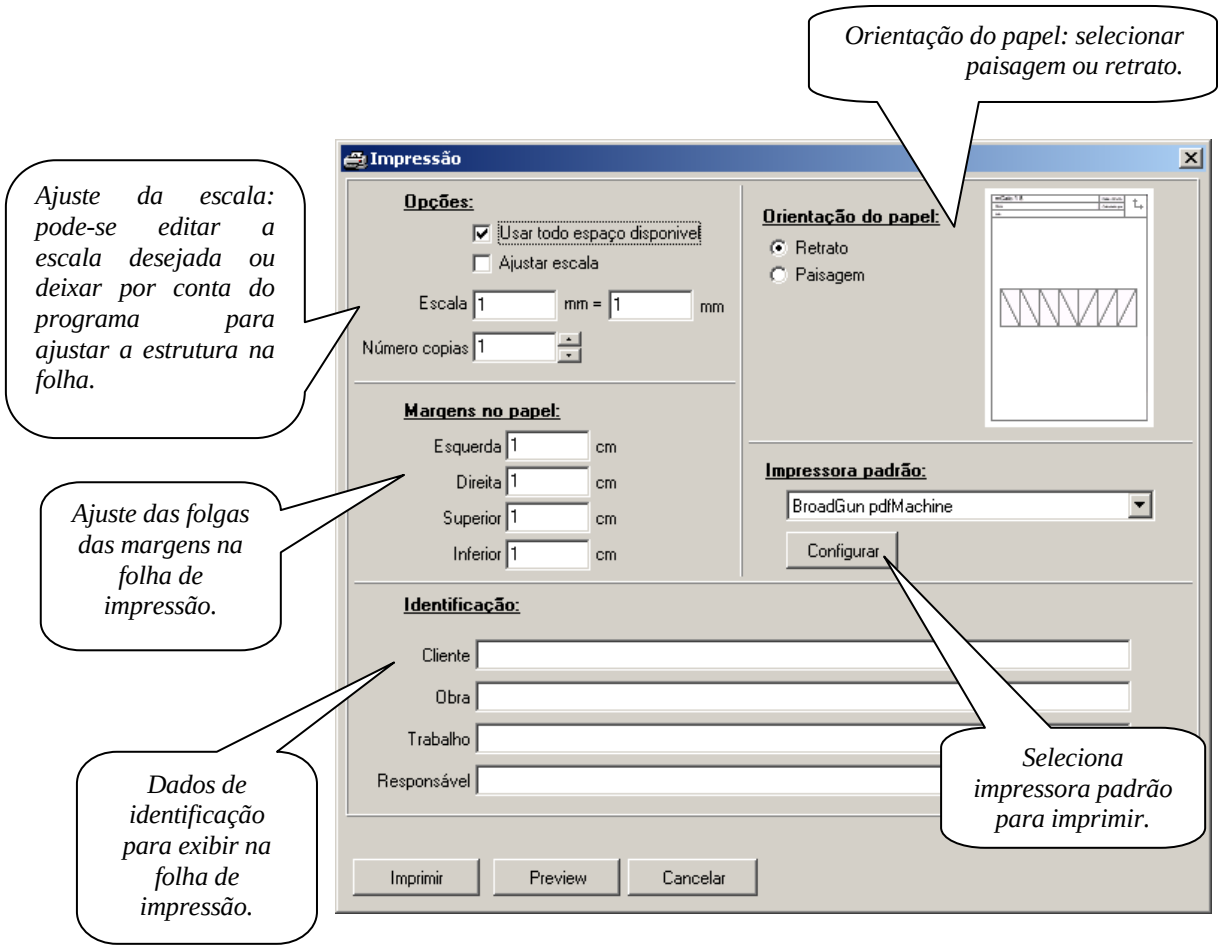
1.8.4.12 Eixos Locais: exibe os eixos locais de cada barra.

1.8.4.13 Exibe Alertas: é uma ferramenta de verificação da consistência de dados.

Esse comando avisa e identifica os problemas do modelo estrutural, quer se faltam propriedades, quer se existem barras desconectadas ou, ainda, se existem barras sobrepostas.

1.8.4.14 Impressão: esta ferramenta estará ativa em todos os módulos do **mCalc 3D**, sempre serão impressas as barras que o usuário selecionar e a mesma imagem que aparece na tela no momento da seleção, ou seja, se estiver exibindo número de nós e barras, estes serão impressos juntamente com as barras da estrutura. Da mesma forma ocorre no módulo de Dimensionamento com o nome ou *performance* dos perfis nas barras; no módulo Ações com o desenho das cargas e respectivos valores; e ainda, no módulo Resultados com os diagramas e deformadas.

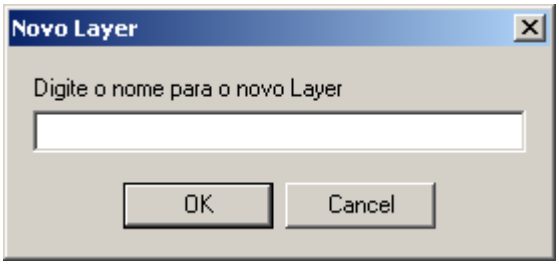
Para imprimir a estrutura, após clicar no ícone da impressão, surgirá uma janela de diálogo para que o usuário configure a página da impressão:



1.8.4.15 Distância: esta ferramenta informa a distância entre dois pontos. Basta clicar no ícone e selecionar estes dois pontos, então serão informados no *prompt* a distância, e as variações de x (dx), y (dy) e z (dz).

```
Distância do ponto: (582.084 1 600)
Até o ponto: (1981.49 1327.5 0)
Distância = 2019.3899,  dx = 1399.4077,  dy = 1326.4968,  dz = -600.0000
```

1.8.4.16 Novo *Layer* – Plano de referência: esta ferramenta será útil caso queira-se que determinadas barras em um plano façam parte de um mesmo *layer*. Para usá-la basta clicar no respectivo ícone na barra de ferramentas, o programa solicitará que sejam selecionadas duas barras que estejam contidas no plano de interesse. Após confirmar a seleção destas duas barras surgirá uma janela para que seja declarado o nome desse layer recém criado a partir destas duas barras:



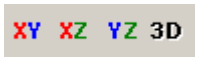
A partir deste momento este novo *layer* poderá ser editado na janela de configuração de *layers*

.

1.8.4.17 Selecionar Plano: esta ferramenta será útil quando queira-se selecionar barras em um plano para aplicar algum comando. Aciona-se o ícone e deverão ser apontadas duas barras que estejam contidas no plano que se queira destacar, confirma-se com o botão direito do mouse ou clicando em <ENTER>. Após a confirmação, o plano estará salientado.

1.8.4.18 Tipo de Estrutura: esta ferramenta será útil para informar ao usuário o tipo de barra na estrutura. Utilizam-se as seguintes siglas:
- PE: Pórtico Espacial;
- TE: Treliça Espacial;
- GR: Grelha;
- EC: Elemento de Concreto;
- TR: Terça.

Ainda no menu principal superior, o **mCalc 3D** tem ferramentas para a visualização da estrutura, segundo o sistema de eixos globais:



Essas ferramentas estão disponíveis em todos os módulos do programa.

Mostra a vista da estrutura projetada no plano definido pelos eixos X e Y – vista superior da estrutura.

Mostra a vista da estrutura projetada no plano definido pelos eixos X e Z – vista frontal da estrutura.

Mostra a vista da estrutura projetada no plano definido pelos eixos Y e Z – vista

lateral da estrutura.

Mostra a vista em perspectiva do tipo 3D livre.

A qualquer momento, para que se possa melhor visualizar a estrutura, pode-se rotacioná-la livremente utilizando-se as teclas <*Shift*> e <*Alt*>, combinadas com movimentos do *mouse*.

Pressiona-se e mantém-se pressionada a tecla <*Shift*>, com o cursor na área de trabalho, clica-se e mantém-se pressionado o botão esquerdo do *mouse*, e com movimentos verticais do ponteiro, rotaciona-se a estrutura em torno de um eixo vertical imaginário, que passa pela origem do sistema de coordenadas.

Pressiona-se e mantém-se pressionadas as teclas <*Shift*> e <*Alt*>, com o cursor na área de trabalho, clica-se e mantém-se pressionado o botão esquerdo do *mouse*, e com movimentos horizontais do ponteiro, rotaciona-se a estrutura em torno de um eixo horizontal imaginário, que passa pela origem do sistema de coordenadas.

Com combinações desses dois movimentos, é possível visualizar o modelo por qualquer ângulo, tornando mais fácil sua compreensão e edição.

1.8.5 Sistema de Coordenadas do mCalc 3D

Foram implementados dois sistemas de coordenadas no **mCalc 3D**: retangulares e polares. Para cada um desses sistemas tem-se coordenadas absolutas e relativas.

1.8.5.1 Coordenadas Retangulares

O sistema de coordenadas retangulares indexa as coordenadas dos pontos à origem do sistema (coordenadas *0,0,0*). Assim, as coordenadas de um nó que dista da origem 500 unidades na direção do eixo *X*, 400 unidades na direção do eixo *Y* e 250 unidades na direção do eixo *Z* serão *(500, 400, 250)* ou seja *X=500*, *Y=400* e *Z=250*.

1.8.5.2 Coordenadas Absolutas

As coordenadas absolutas são referidas à origem *(0,0,0)* do sistema global.

1.8.5.3 Coordenadas Relativas

As coordenadas relativas sempre estarão referidas à uma origem temporária que é o

último ponto (ou ponto anterior).

Para se usar coordenadas relativas, deve-se, simplesmente, colocar um @ antes das coordenadas do próximo ponto.

O símbolo @ indica para o programa que a origem do próximo ponto é o ponto anterior.

1.8.6 Manual *on line* do mCalc 3D

Além do manual impresso do **mCalc 3D**, que acompanha o pacote do programa, disponibiliza-se o manual *on line*, que é um grande arquivo em formato *.PDF* com o mesmo conteúdo do manual.

Para consultar esse manual deve-se ter instalado o programa *Acobrat Reader*. Esse programa, de distribuição gratuíta, acompanha a instalação do **mCalc 3D**.

Para instalá-lo deve-se copiar o conteúdo do sub-diretório *Manual* que está no CD de instalação do **mCalc 3D**.

Uma vez carregado o *Acrobat Reader*, basta abrir-se os diversos capítulos do manual para visualizá-lo ou imprimi-lo.

O manual *on line* também está disponível para *download* em nosso site - www.stabile.com.br

CAPÍTULO 2.

ASSISTENTE DE PROJETOS

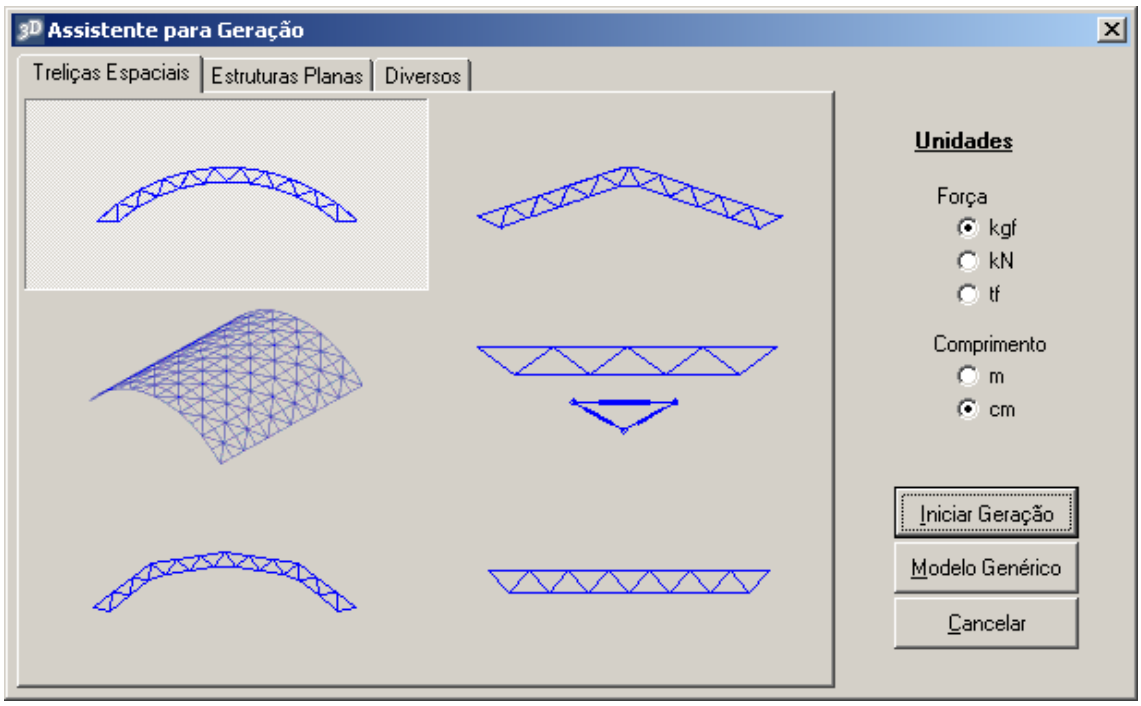
CAPÍTULO 2. – ASSISTENTE DE PROJETOS

Com o objetivo de facilitar o uso do programa **mCalc 3D**, desenvolveu-se um módulo chamado Assistente de Projetos que orienta a Geração Automática de Dados.

Nesse módulo estão incluídas as gerações de geometria (barras, propriedades e vinculação) e de ações que carregam as estruturas mais usuais.

O módulo **Assistente de Projetos** surgirá toda a vez que se abrir um arquivo novo ou no módulo *Geometria* (basta clicar sobre a aba *Geometria*), clicar no botão de geração Geração 3D e clicar em qualquer ponto da área de desenho ou digitar as coordenadas no *prompt* do programa.

O sistema abrirá uma janela apresentando as possibilidades de tipos de estruturas a serem geradas. Nessa janela, encontram-se 3 abas com os tipos de estruturas separadas por grupos. O primeiro grupo apresenta as Treliças espaciais:



2.1 GERANDO TRELIÇAS ESPACIAIS

Têm-se alguns pontos comuns na geração automática dessas treliças:

Os dados geométricos deverão ser informados em **metros** e os dados de ações na unidade de força escolhida na **Configuração**.

A geometria, ações e propriedades geradas terão unidades compatíveis com as escolhidas na configuração.

Os nós serão numerados da esquerda para a direita, ficando os nós pares no Banzo Superior e os ímpares no Banzo Inferior.

As barras serão numeradas da esquerda para a direita, seguindo a seguinte ordem:

1. Banzo Superior
2. Banzo Inferior
3. Diagonais
4. Montantes

O primeiro e último nós do banzo inferior serão considerados nós de apoio. Caso esta situação não se verifique em algum modelo de treliça, posteriormente deverá ser corrigido na **Geometria**.

As ações devidas ao vento serão geradas, conforme a NBR6123:1987, considerando-se duas direções preferenciais: *Vento Transversal* (perpendicular à cumeeira) e *Vento Longitudinal* (paralelo à cumeeira), respectivamente formando um angulo de 90° e 0° de acordo com a referida norma.

As ações serão geradas como ações uniformemente distribuídas sobre as barras do Banzo Superior. Serão gerados 5 ou 6 estados de carga sendo:

• **Estado 1**: *Ação Permanente* (peso próprio + telhas + ...)

• **Estado 2**: *Sobrecarga*

• **Estado 3**: *Vento Transversal*

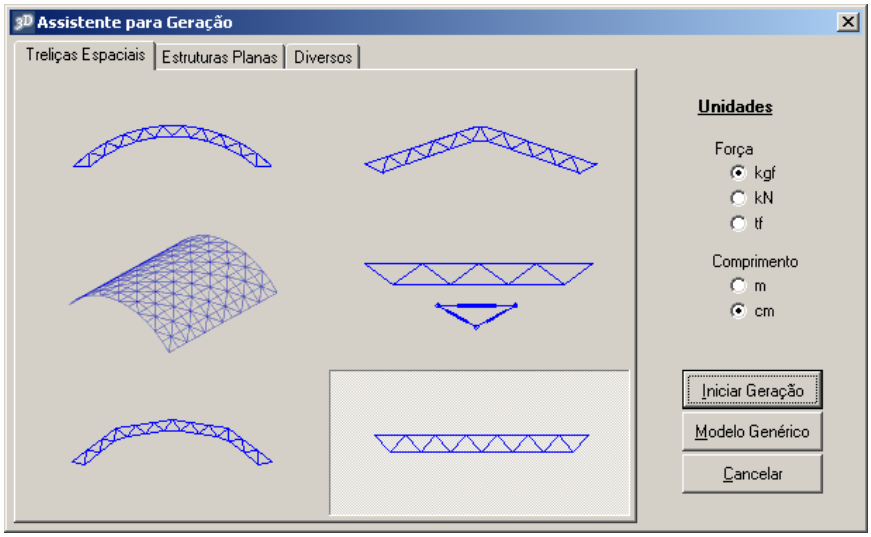
• **Estado 4**: *Vento Longitudinal*

• **Estado 5**: *Pressão Interna para Vento Transversal*

• **Estado 6**: *Pressão Interna para Vento Longitudinal*

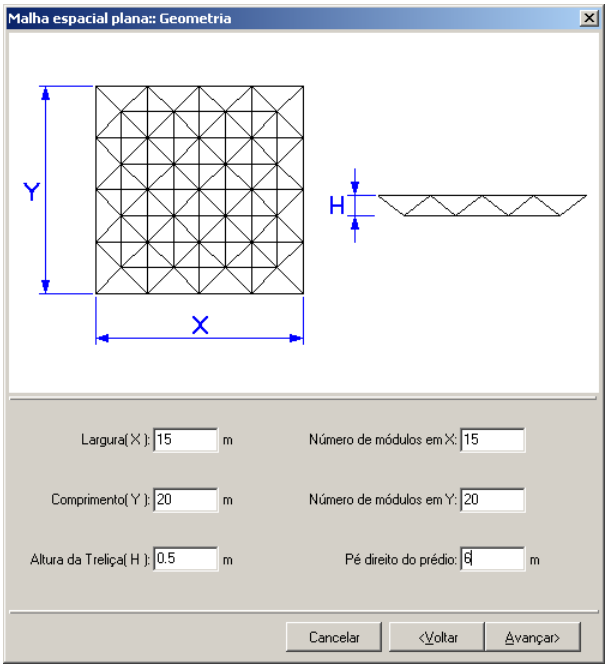
A seguir apresenta-se a informação de dados para uma treliça espacial:

MALHA ESPACIAL PLANA



Uma vez confirmado o tipo de treliça que se quer surgirá uma *janela de diálogo* para informação de dados geométricos:

Dados informados:



Para a geração de geometria:

Largura(X): largura da estrutura, conforme figura ao lado;

Comprimento(Y): comprimento da estrutura, conforme figura;

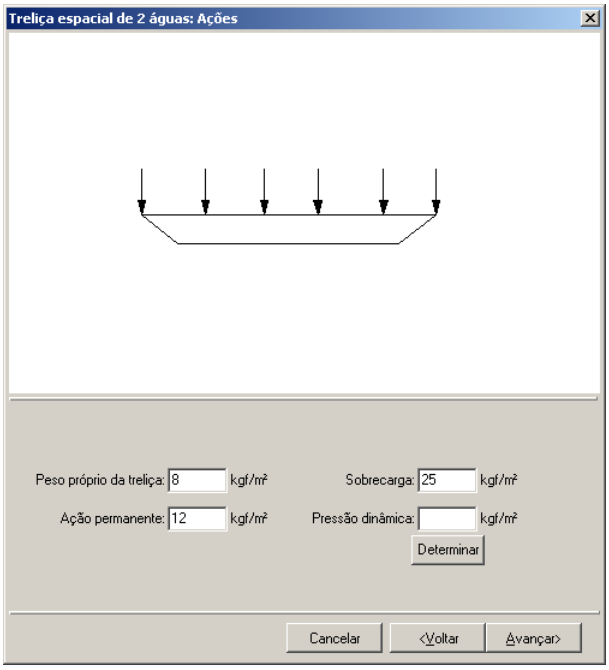
Altura da Treliça(H): altura entre os banzos inferior e superior;

Número de módulos em X e Y: em metros;

Pé-direito do prédio (para determinação dos coeficientes aerodinâmicos).

Os dados deverão se informados em *metros* e as coordenadas serão geradas na unidade escolhida na **Configuração.**

Uma vez que os dados sejam confirmados avança-se para a *janela de diálogo* de informação de ações:



Ação Permanente ..... peso das telhas, do forro ...

Sobrecarga ..... de utilização do telhado (*conforme NBR8800 ≥ 25 kgf/m²*)

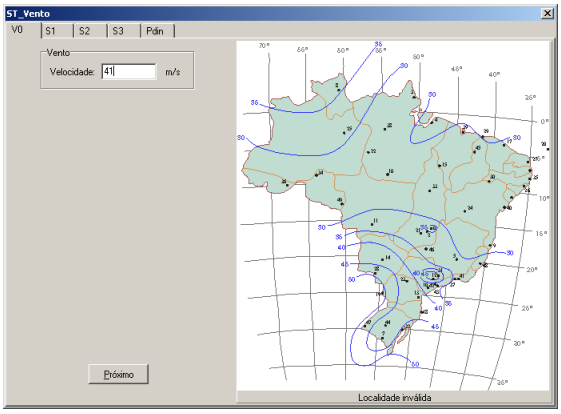
Pressão Dinâmica ..... pressão dinâmica do vento ao longe

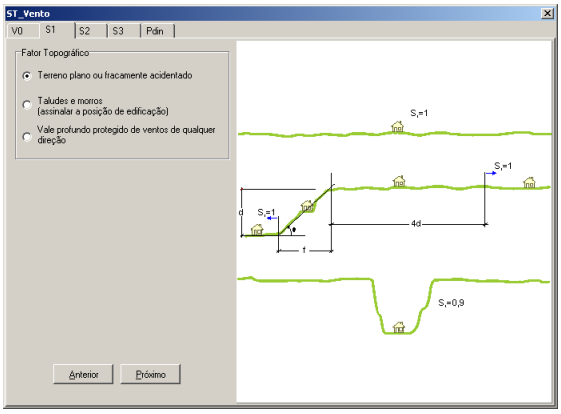
Os valores dos 3 primeiros itens deverão ser fornecidos em *kgf/m²*. O programa gerará cargas uniformes, linearizadas sobre as barras do Banzo Superior, na unidade escolhida na **Configuração**.

No caso da Pressão Dinâmica é possível determiná-la automaticamente, bastando clicar-se sobre o botão <*Determinar*> e seguir os passos que se apresenta a seguir:

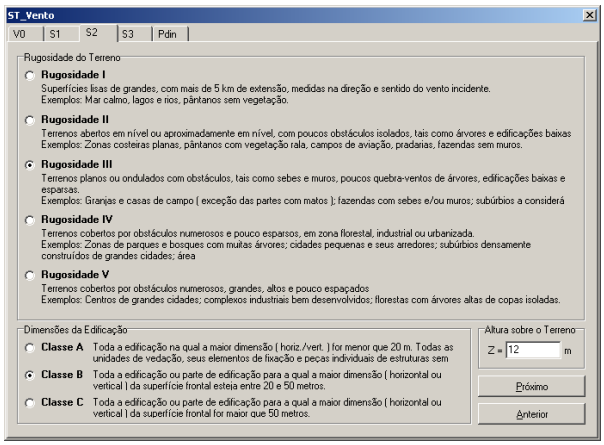
1. No gráfico das isopletas clica-se sobre o local onde será edificada a estrutura

2. Avança-se declarando o tipo de topografia do terreno

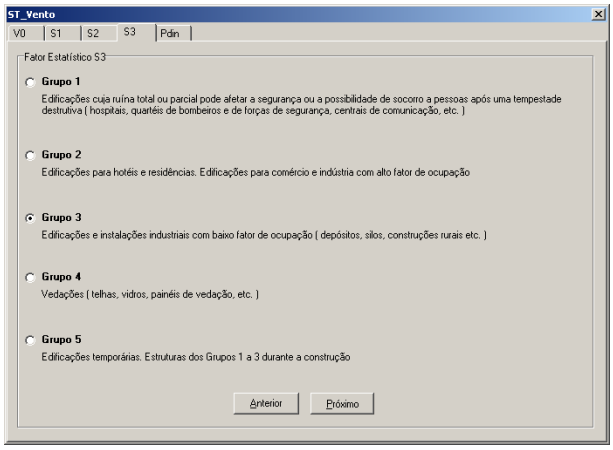




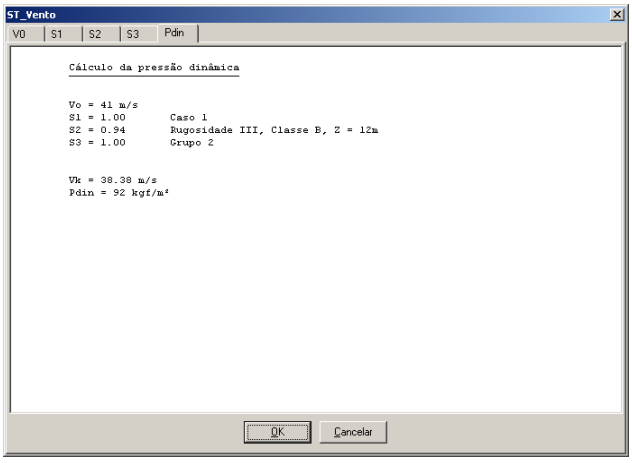
3. Declaram-se a rugosidade do terreno, as dimensões da edificação e a altura acima do terreno que se quer determinar o valor de S2.


ST_Vento
V0
S1
S2
S3
Pdin
Rugosidade do Terreno
Rugosidade I
Superfícies lisas de grandes, com mais de 5 km de extensão, medidas na direção e sentido do vento incidente.
Exemplos: Mar calmo, lagos e rios, pântanos sem vegetação.
Rugosidade II
Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas
Exemplos: Zonas costeiras planas, pântanos com vegetação rala, campos de aviação, pradarias, fazendas sem muros.
Rugosidade III
Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.
Exemplos: Granjas e casas de campo (exceção das partes com matos); fazendas com sebes e/ou muros; subúrbios a considerá
Rugosidade IV
Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco esparsos, em zona florestal, industrial ou urbanizada.
Exemplos: Zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades; área
Rugosidade V
Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados
Exemplos: Centros de grandes cidades; complexos industriais bem desenvolvidos; florestas com árvores altas de copas isoladas.
Dimensões da Edificação
Classe A
Toda a edificação na qual a maior dimensão (horiz./vert.) for menor que 20 m. Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem
Classe B
Toda a edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão (horizontal ou vertical) da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros.
Classe C
Toda a edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão (horizontal ou vertical) da superfície frontal for maior que 50 metros.
Altura sobre o Terreno
Z = 12 m
Próximo
Anterior

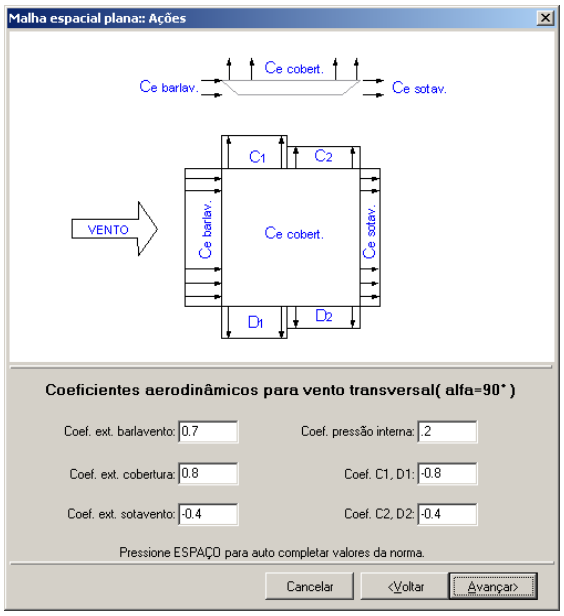
4. Declara-se o grupo ao qual a edificação pertence, determinando S3:

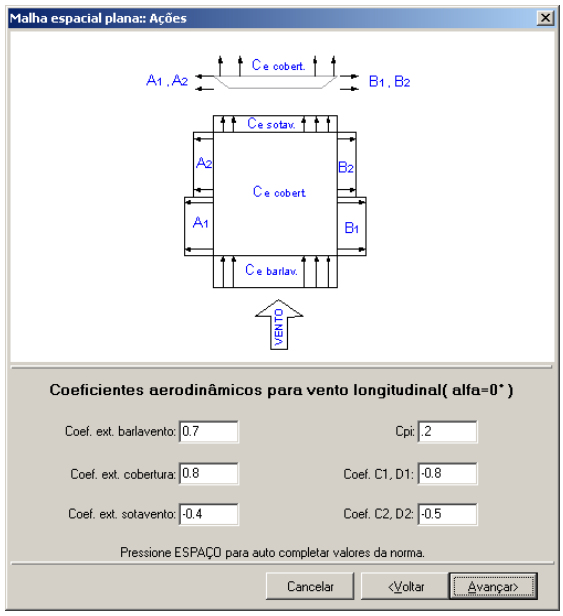

ST_Vento
V0
S1
S2
S3
Pdin
Fator Estatístico S3
Grupo 1
Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou a possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)
Grupo 2
Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação
Grupo 3
Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais etc.)
Grupo 4
Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)
Grupo 5
Edificações temporárias. Estruturas dos Grupos 1 a 3 durante a construção
Anterior
Próximo

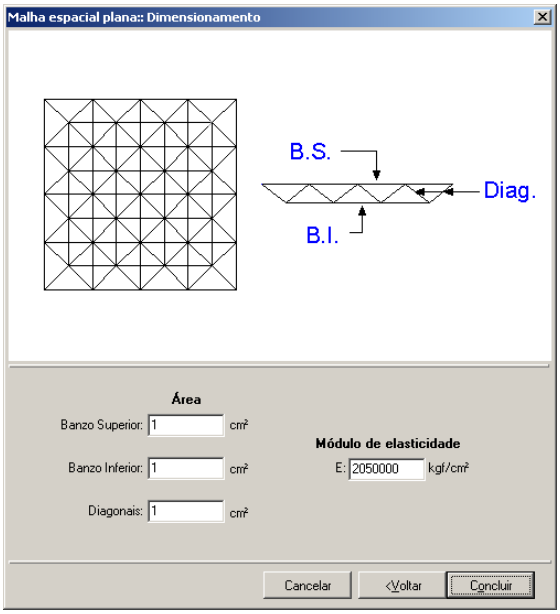
5. Por último, avançando-se, será exibida a Pressão Dinâmica:



A seguir, devem ser declarados os coeficientes aerodinâmicos externos e de pressão interna para vento transversal e longitudinal, e deve-se declarar a área inicial de cada grupo de barras. Essa área serve como valor inicial para o cálculo iterativo. Caso já se saiba a área aproximada das seções transversais das barras, esse valor deve ser declarado, se não, inicia-se as variáveis com uma área qualquer, i.e. 1cm^2.





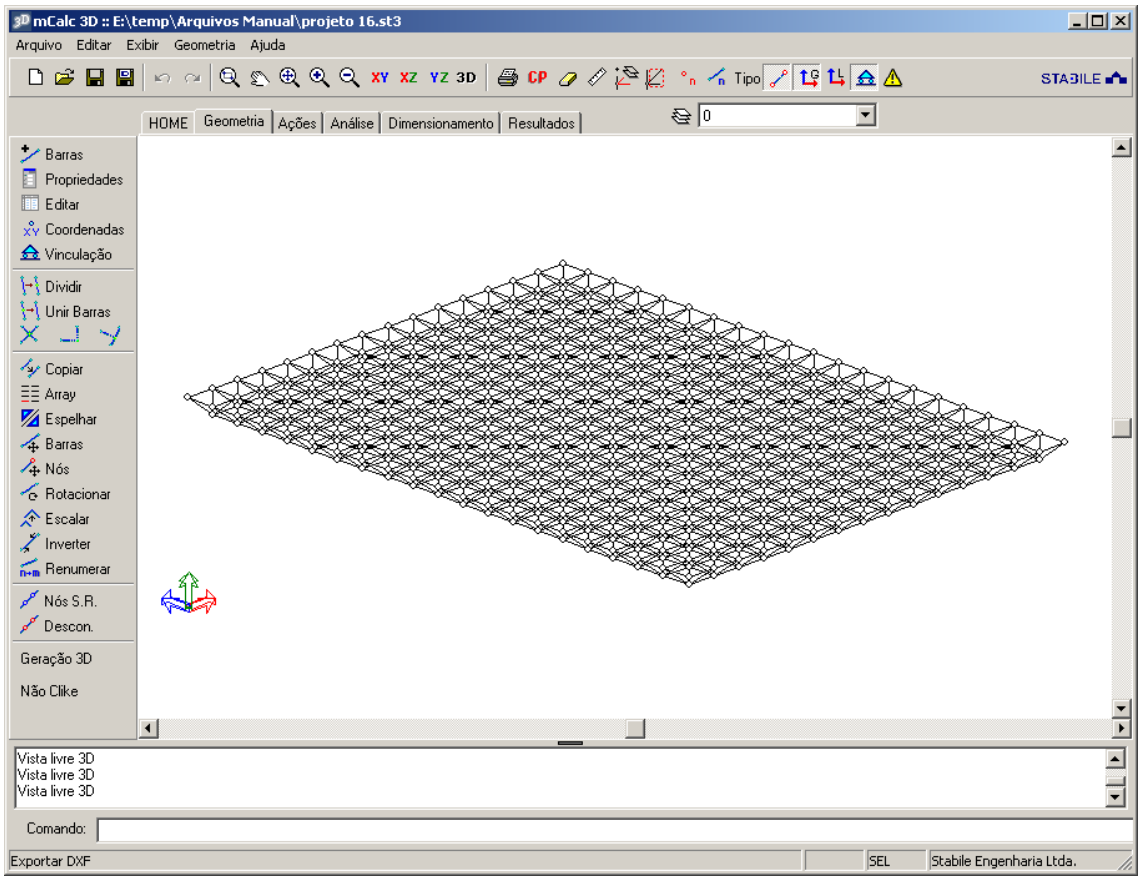


Serão gerados 9 estados de cargas, na seguinte ordem:

1º estado: Peso próprio da estrutura
2º estado: Ação permanente
3º estado: Sobrecarga de utilização
4º estado: Vento Transversal esquerdo
5º estado: Vento Transversal direito
6º estado: Vento Longitudinal de frente
7º estado: Vento Longitudinal de fundos
8º estado: Pressão interna para vento transversal
9º estado: Pressão interna para vento longitudinal

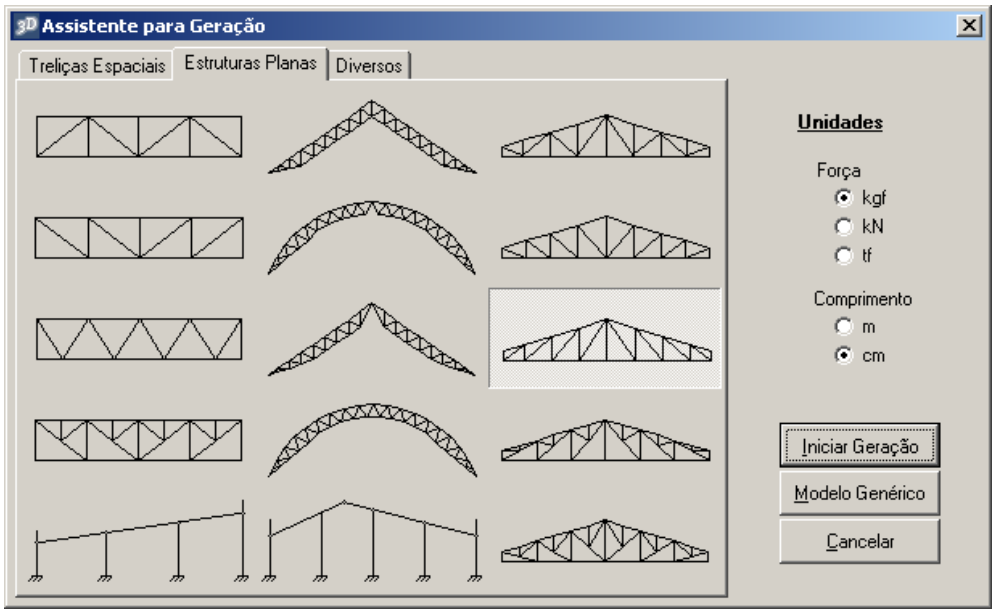
Ao concluir a geração, o **mCalc 3D** apresenta o modelo geométrico e os diversos estados de ações criados. A partir daí, a estrutura está pronta para ser analisada, ou para ser modificada pelo usuário, caso alguma edição se faça necessária.

O procedimento para a geração automática dos outros tipos estruturais disponíveis são semelhantes ao descrito acima. Basta preencher os dados pedidos pelo programa.

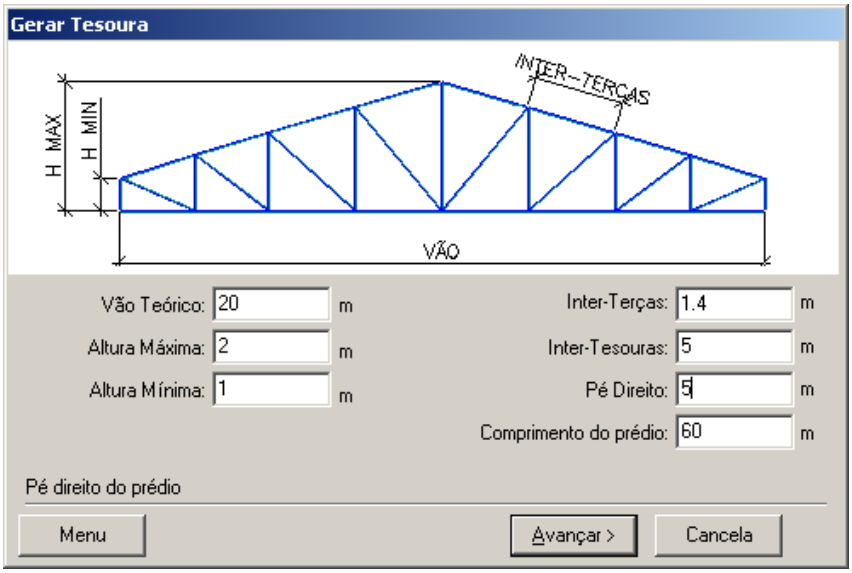


2.2 ESTRUTURA ESPACIAL A PARTIR DE UMA PLANA

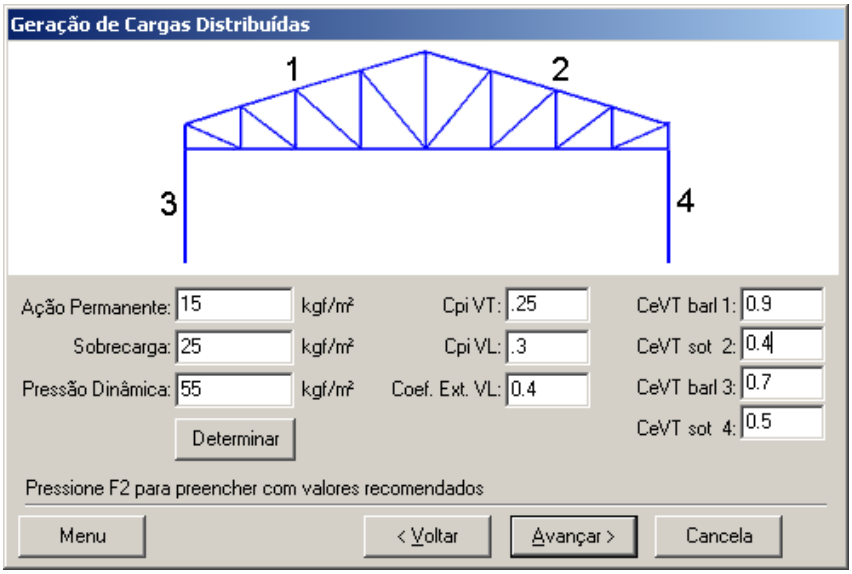
Estão disponíveis 15 tipos de estruturas planas, a partir destas é possível gerar estruturas espaciais.



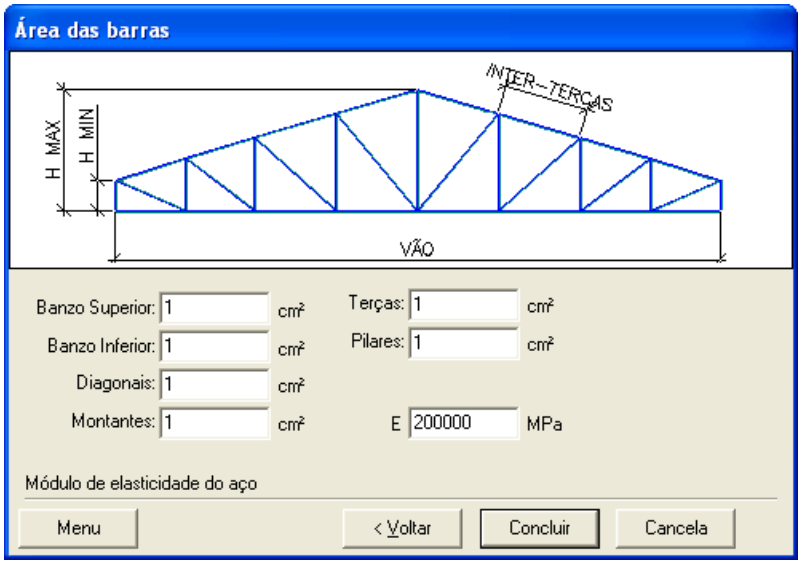
Deverão ser fornecidos os dados geométricos da estrutura plana, e a partir do *Pé Direito* será estabelecida a altura dos pilares. A distância entre cada um dos pórticos será dada pelo valor inserido em *Inter-Tesouras* que serão distribuídas ao longo do *Comprimento do prédio.*



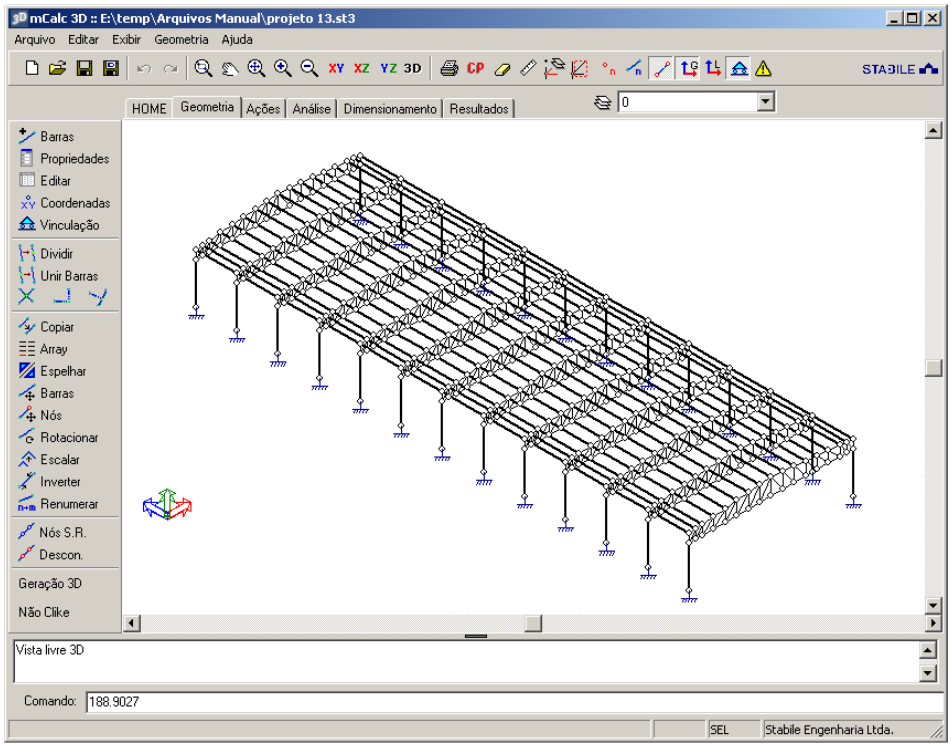
Na geração de cargas distribuídas deverão ser declarados os coeficientes de vento para a cobertura (partes 1 e 2) e para os pilares (partes 3 e 4).



A finalização será dada pela declaração das áreas das barras, caso não se saiba, a princípio, tais propriedades sugere-se que sejam declarados valores quaisquer e diferentes de ZERO.

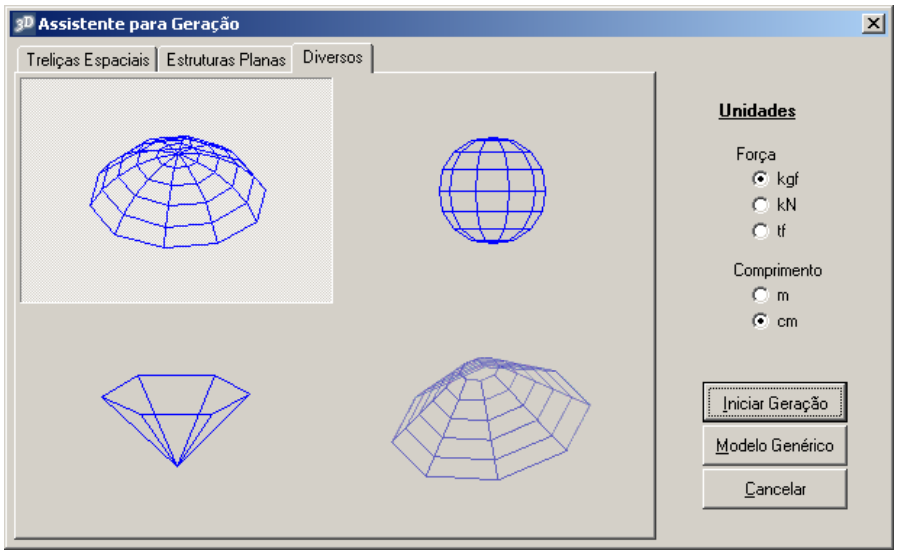


Após inserção de todos estes dados basta clicar no botão CONCLUIR e a estrutura gerada via Assistente de Projetos será reproduzida no ambiente do **mCalc 3D**:

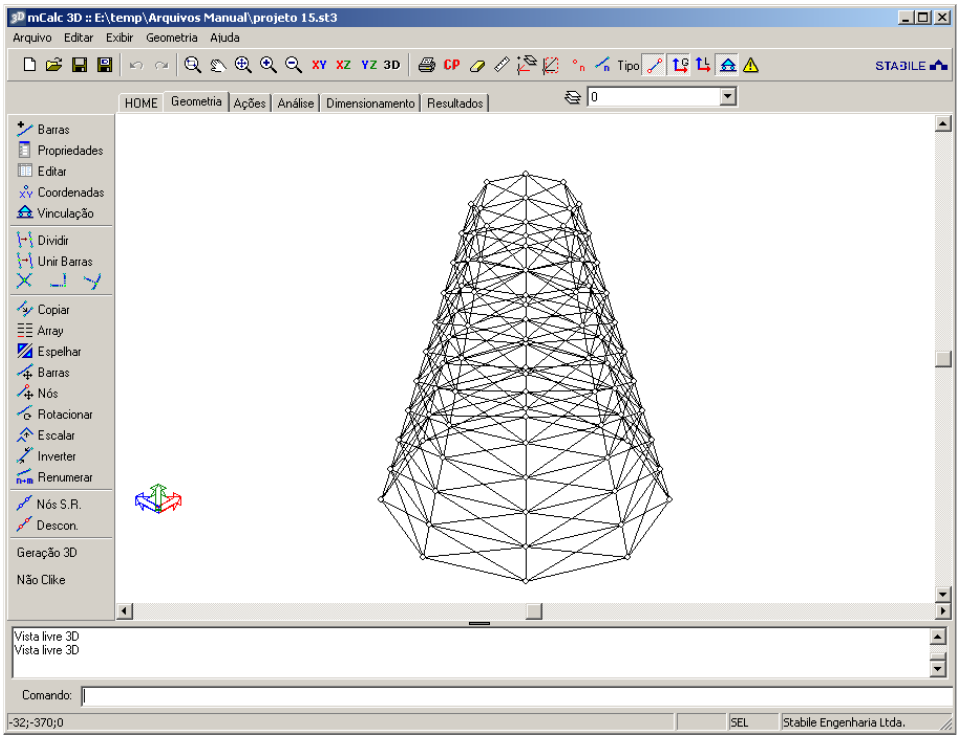


2.3 ESTRUTURAS DIVERSAS

Além das treliças espaciais e das estruturas planas também tem disponível no Assistente de Projetos estruturas do tipo: semi-esfera, esfera, pirâmide e cone.

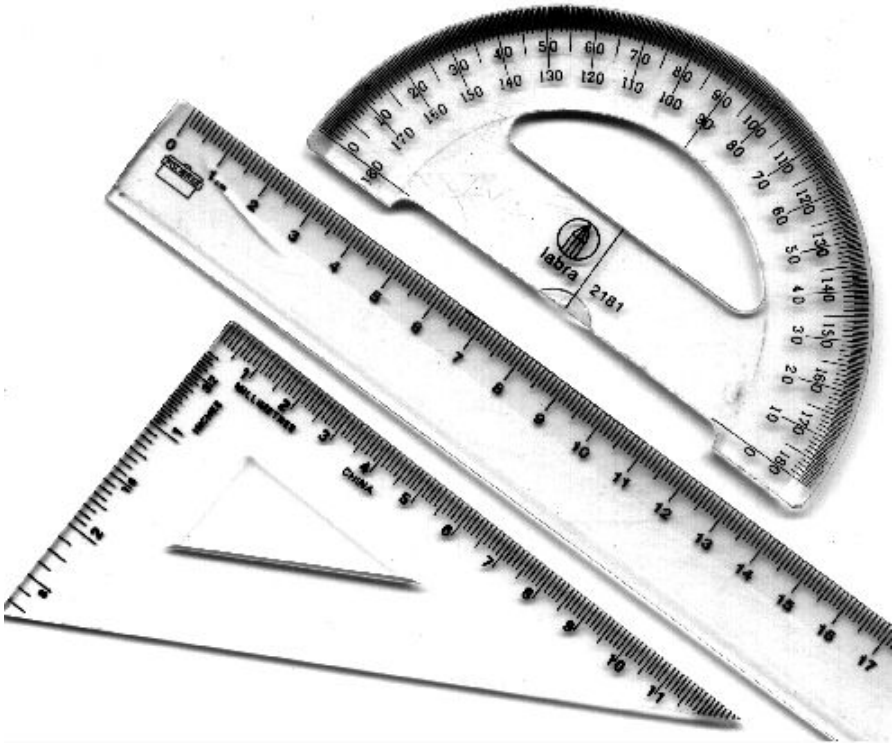


Nestes modelos haverá apenas a geração da geometria e não do carregamento.



CAPÍTULO 3.

MÓDULO DA GEOMETRIA



CAPÍTULO 3. MÓDULO GEOMETRIA

3.1. Introdução

O módulo **Geometria** é utilizado para se desenhar a estrutura, editar algum dado ou manipular a estrutura.

Para acessar-se esse módulo clicar-se sobre a *aba* **Geometria** com o botão esquerdo do *mouse*, sendo exibidos os recursos/comandos desse módulo.
Explora-se, a seguir, cada um desses comandos.

3.2. Comando BARRA

Para introduzir barras na estrutura.

Após clicar-se sobre o botão

seleciona-se o ponto inicial e o ponto final da barra.

A informação pode ser via clique do *mouse* ou por coordenadas cartesianas globais ou relativas ao último ponto.

3.3. Comando PROPRIEDADES

Será utilizado para fornecer as propriedades uma barra ou um conjunto de barras já existentes.
Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

.

No *prompt* do programa será exibida uma solicitação: **Selecione barras para exibir as Propriedades**.
Seleciona(m)-se a(s) barra(s) que terão as propriedades editadas com o botão esquerdo do *mouse*.

Todas as barras selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

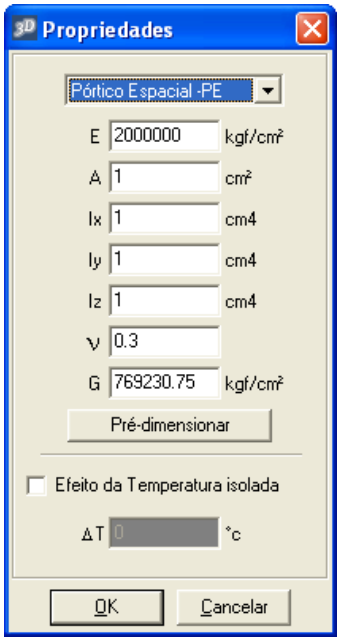
Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

Aparecerá a janela com as propriedades da barra que podem ser inseridas ou alteradas.l

Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou então a tecla <esc>.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará permitindo fornecer as propriedades.

Para editar as propriedades das barras selecionadas, basta digitar o valor desejado nos *edit-boxes* correspondentes.



Os campos referentes às propriedades estarão habilitados para serem preenchidos, segundo tabela a seguir:

Tipo de Estrutura	E	Área	Ix	Iy	Iz	ν	G
Treliça Espacial	sim	sim	não	não	não	não	não
Pórtico Espacial	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Grelha	sim	não	não	sim	sim	sim	sim
Elemento de Concreto	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Terça	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

Esses valores devem, obrigatoriamente, ser diferentes de zero. Após o dimensionamento, o **mCalc 3D** atualiza as propriedades das barras, adotando então o valor exato da área da seção de cada barra.

3.4. Comando EDITAR

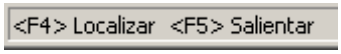
O sistema **mCalc 3D** publica, em forma de planilha, permitindo edição de:

• *Conetividade de barras*: podem-se alterar as conetividades das barras;

• *Propriedades das barras*: edita propriedades das barras;

• *Coordenadas dos nós*: edita as coordenadas nodais.

Dentro da planilha o **mCalc 3D** oferece, também, alguns recursos de visualização que são dados por:



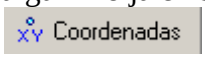
onde:

<F4> Localizar: clicando-se com o *mouse* numa célula de uma determinada barra, pressionando-se <F4> a barra será salientada com uma linha colorida espessa e colocada em evidência.

<F5> Salientar : clicando-se com o *mouse* numa célula de uma determinada barra, pressionando-se <F6> a barra será salientada com uma linha colorida espessa.

3.5. Comando COORDENADAS

Será utilizado para informação ou edição da(s) coordenada(s) de algum nó já existente.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão Coordenadas 

com o botão esquerdo do *mouse*.

No *prompt* do programa será exibida uma solicitação: **Selecione nós para Editar.**
Seleciona(m)-se o(s) nó(s) a serem alterados ou verificados com o botão esquerdo do *mouse*. Todos os nós que forem selecionados ficarão desenhados com um circulo maior. Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.
Aparecerá a janela com as coordenadas dos nós que podem ser inseridas ou alteradas, conforme a figura:

Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou pressione-se a tecla <esc>.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará permitindo fornecer as coordenadas dos nós.

3.6. Comando VINCULAÇÃO

As direções restringidas dos nós vinculados – vinculação – serão declaradas no sistema global de coordenadas da estrutura.

Será utilizado para a colocação do(s) vinculo(s) de estruturas já existentes.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão Vinculação

com o botão esquerdo do mouse.

No *prompt* do programa será exibida uma mensagem: **Selecione nós para Editar Vínculos.**

Seleciona-se o(s) nó(s) a serem editados a vinculação com o botão esquerdo do mouse. Todos os nós que forem selecionados ficarão desenhados com um círculo maior.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

A seguir surgirá a janela onde será declarada a opção de restrição desejada, e após aplica-se com o botão <OK>, conforme a figura:

Para utilizar vínculos elásticos, deve-se declarar o valor da constante elástica (k) em cada uma das direções com movimento restringido, permanecendo os demais valores zerados. O mesmo pode ser feito caso os apoios possam ceder.

Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou pressione-se a tecla <esc>.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará vinculando a estrutura no ponto que se

indicar.

3.7. Comando DIVIDIR

Será utilizado para dividir uma barra ou um conjunto de barras já existentes em *N* tamanhos iguais.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

com o botão esquerdo do *mouse*.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para dividir**

Seleciona(m)-se a(s) barra(s) a serem divididas com o botão esquerdo do mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

No *prompt* do programa surgirá um pedido de informação: **Dividir em N partes**.

Será necessário digitar o número de quantas partes se deseja dividir a barra. Para confirmar pressione-se na tecla <ENTER>.

Esse comando ficará ativo até que se pressione a tecla **<esc>**.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará dividindo as barras selecionadas.

3.8. Comando UNIR BARRAS

Será utilizado quando se deseja unir duas barras já existentes que sejam colineares.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

com o botão esquerdo do *mouse*.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para Unir.**

Selecionam-se as barras a serem unidas com o botão esquerdo do mouse. As barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

Esse comando ficará ativo até que se pressione a tecla <esc>.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará unindo as barras selecionadas.

O **mCalc 3D** só unirá barras que sejam co-lineares, por isso no caso de que não haja resposta do comando, verifique se as barras a serem unidas são, efetivamente, co-lineares.

3.9. Comando CRIAR NÓ NA INTERSEÇÃO

Será utilizado para criar um nó na interseção de duas barra que se interceptam ou que sejam concorrentes.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão com o botão esquerdo do mouse.

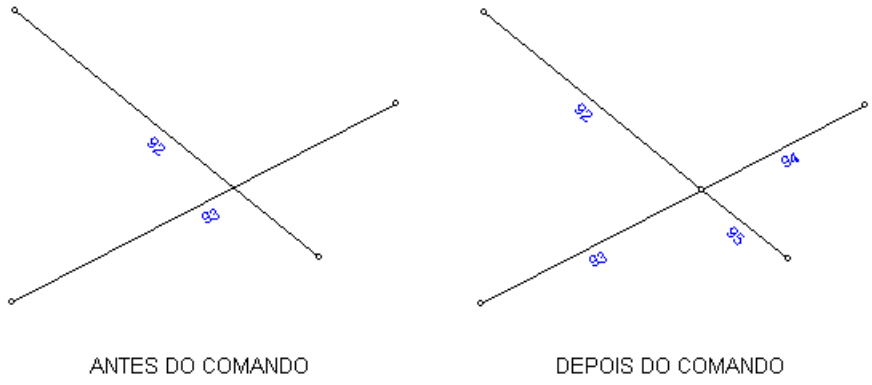
No *prompt* do programa será exibida uma ordem: "**Selecione 2 barras para criar interseção"**

Seleciona(m)-se a(s) barra(s) a serem criada a interseção com o botão esquerdo do mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a operação com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

Esse comando ficará ativo até que seja pressionada a tecla <esc>.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará criando a interseção das barras selecionadas.



ANTES DO COMANDO DEPOIS DO COMANDO

3.10. Comando PROLONGAMENTO

Será utilizado para prolongar uma ou duas barra até sua interseção, recortando as partes que *excedem* o nó criado.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão com o botão esquerdo do mouse.

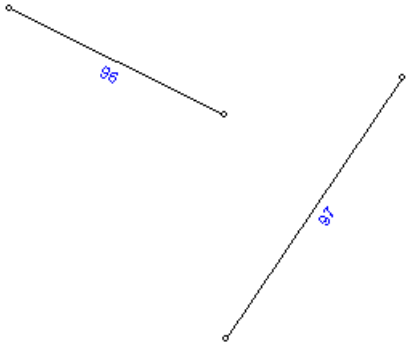
No *prompt* do programa será exibida uma ordem: "**Selecione 2 barras para prolongar até a interseção"**

Seleciona-se a(s) barra(s) a serem prolongadas com o botão esquerdo do

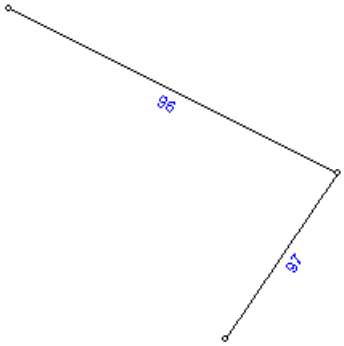
mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando a tecla <ENTER>.

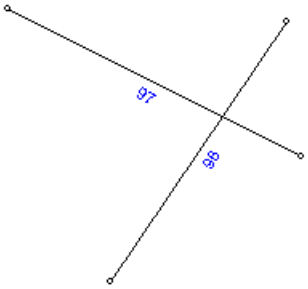
Esse comando ficará ativo até que seja pressionado o botão direito do mouse ou a tecla <esc>.



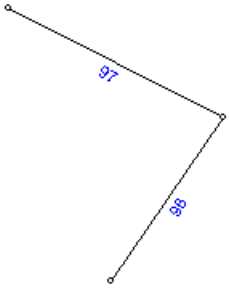
ANTES DO COMANDO



DEPOIS DO COMANDO



ANTES DO COMANDO



DEPOIS DO COMANDO

3.11. Comando *EXTEND*

Será utilizado para criar nó entre duas barras próximas que não se interceptam, unindo-as e criando-se um nó na interseção.

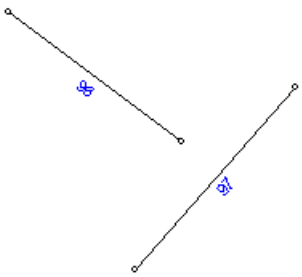
Ativa-se esse comando clicando sobre o botão com o botão esquerdo do mouse.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione 2 barras para criar nó na interseção**

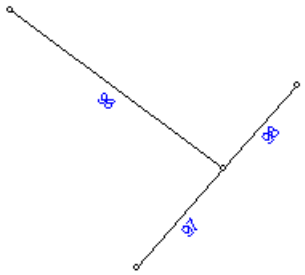
Seleciona-se a(s) barra(s) a serem criadas o nó na interseção com o botão esquerdo do mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho. Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

Esse comando ficará ativo até que seja pressionado o botão direito do mouse ou pressione-se a tecla <esc>.

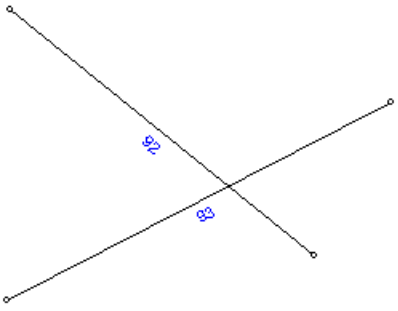
Enquanto o comando estiver ativo ele continuará criando o nó na interseção das barras selecionadas.



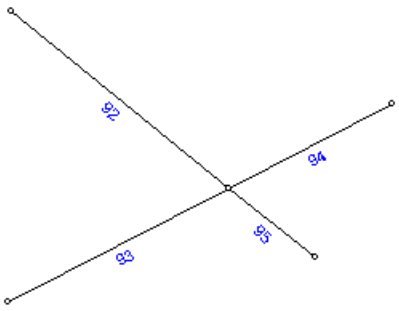
ANTES DO COMANDO



DEPOIS DO COMANDO



ANTES DO COMANDO



DEPOIS DO COMANDO

3.12. Comando COPIAR

Será utilizado para copiar uma barra ou um conjunto de barras já existentes.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

com o botão esquerdo do *mouse*.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para copiar**

Seleciona-se a(s) barra(s) a serem copiadas com o botão esquerdo do mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

No *prompt* do programa surgirá um pedido de informação: **Ponto Base**

Com o botão esquerdo do mouse clica-se no ponto que se quer que seja base.

No *prompt* do programa surgirá outro pedido de informação: **Ponto Final**

A indicação dos pontos inicial e final pode ser feita clicando-se o ponto desejado ou pode ser feita através de coordenadas globais ou relativas ao ponto anterior, por exemplo, 200,0,0 (coordenadas globais) ou @350,150,200 (coordenadas relativas) ou ainda por coordenadas polares @200<45.

Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou se pressione a tecla <esc>.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará copiando as barras selecionadas para o ponto que se indicar.

3.13. Comando *ARRAY*

Será utilizado o comando ***ARRAY*** para copiar uma ou um conjunto de barras em lote.

Ativa-se o comando clicando sobre o botão

.

No *prompt* do programa surge a instrução: **Selecione barras para cópia em lote**

Após a seleção e a confirmação, o *prompt* pergunta: **Array Retangular ou polar (<R>/P)**

Caso se escolha array retangular (R e <Enter>), declaram-se: **Número de Linhas** e **Número de colunas.** Declaram-se: **Distância entre as Linhas** e **Distância entre as Colunas**

Caso as distâncias declaradas sejam positivas as cópias serão feitas no primeiro quadrante.

Caso se escolha array polar (P e <Enter>), declaram-se: **o ponto central** (pólo) das cópias múltiplas, o **número de itens** e o **ângulo a ser preenchido**.

O comando Array cria as cópias no plano XY global.

3.14. Comando ESPELHAR

Será utilizado para espelhar uma estrutura.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

com o botão esquerdo do *mouse*.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para espelhar**

Seleciona-se a(s) barra(s) a serem espelhadas com o botão esquerdo do mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

No *prompt* do programa surgirá um pedido de informação: **Ponto Base**

Com o botão esquerdo do mouse clica-se no ponto que se quer que seja base.

No *prompt* do programa surgirá outro pedido de informação: **Ponto Final**

A indicação do Ponto Final pode ser feita clicando-se o ponto desejado ou pode ser feita através de coordenadas relativas ao ponto anterior, por exemplo, @200,0,0 ou por coordenadas polares @200<45.

Ao confirmar o segundo ponto de referência, o *prompt* do programa exibirá: **Deseja apagar as barras originais (S/<N>)**. Caso se digite S e <Enter>, as barras originais serão excluídas do desenho.

Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou pressione-se a tecla <esc>.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará espelhando as barras selecionadas em relação ao plano que se indicar.

Esse comando permite espelhar a estrutura com referência em um plano definido pelos pontos inicial e final e pelo eixo Z global.

3.15. Comando MOVER BARRAS

Será utilizado para mover uma barra ou um conjunto de barras já existentes.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

com o botão esquerdo do *mouse*.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para mover**

Seleciona-se a(s) barra(s) a serem movidas com o botão esquerdo do mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

No *prompt* do programa surgirá um pedido de informação: **Ponto Base**

Com o botão esquerdo do mouse clica-se no ponto que se quer que seja base.

No *prompt* do programa surgirá outro pedido de informação: **Ponto Final**

A indicação do Ponto Final pode ser feita clicando-se o ponto desejado ou pode ser feita através de coordenadas relativas ao ponto anterior, por exemplo, @200,0,0 ou por coordenadas polares @200<45.

Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou pressione-se a tecla **<esc>**.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará movendo as barras selecionadas para o ponto que se indicar.

3.16. Comando MOVER NÓS

Será utilizado para esticar um nó de barras já existentes.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

com o botão esquerdo do mouse.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione nós para mover**

Seleciona-se o(s) nó(s) a serem movidos com o botão esquerdo do mouse. Todos os nós que forem selecionadas ficarão desenhadas com um círculo maior.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

No *prompt* do programa surgirá um pedido de informação: **Ponto Base**

Com o botão esquerdo do mouse clica-se no ponto que se quer que seja base.

No *prompt* do programa surgirá outro pedido de informação: **Ponto Final**

A indicação do Ponto Final pode ser feita clicando-se o ponto desejado ou pode ser feita através de coordenadas relativas ao ponto anterior, por exemplo, @200,0,0 ou por coordenadas polares @200<45.

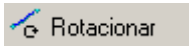
Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou pressione-se a tecla <esc>.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará movendo os nós selecionados para o

ponto que se indicar.

3.17. Comando ROTACIONAR

Será utilizado para rotacionar uma barra ou um conjunto de barras já existentes por um determinado ângulo de inclinação.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão 

com o botão esquerdo do mouse.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para rotacionar**

Seleciona-se as barras a serem rotacionadas com o botão esquerdo do mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

No *prompt* do programa surgirá um pedido de informação: **Ponto Base**

Com o botão esquerdo do mouse clica-se no ponto que se quer que seja base.

No *prompt* do programa surgirá outro pedido de informação: **Ponto Final**

A indicação do Ponto Final pode ser feita clicando-se o ponto desejado.

Caso se queira rotar com um ângulo determinado deve-se, ao invés de clicar sobre um ponto final, digitar-se ***@1<Ângulo***.

O ângulo de rotação será medido a partir do eixo X, e a estrutura será rotada em torno do eixo Z.

Se ***Ângulo*** for declarado > 0 a rotação será no sentido anti-horário.
Se ***Ângulo*** for declarado < 0 a rotação será no sentido horário.

Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou se pressione a tecla <**esc**>.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará rotacionando as barras selecionadas para o ponto que se indicar.

3.18. Comando ESCALAR

Será utilizado para escalar uma barra ou um conjunto de barras já existentes. O comando pode ser usado para aumentar ou diminuir o desenho da estrutura.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

com o botão esquerdo do mouse.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para**

escalar

Selecionam-se as barras a serem escaladas com o botão esquerdo do mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

No *prompt* do programa surgirá um pedido de informação: **Ponto Base**

Com o botão esquerdo do mouse clica-se no ponto que se quer que seja base.

No *prompt* do programa surgirá outro pedido de informação: **Fator de escala**

Digita-se o valor do fator de escala, ou seja, o fator de multiplicação para as dimensões da estrutura.

3.19. Comando INVERTER

Será utilizado para inverter o sentido dos eixos de coordenadas locais de uma barra ou um conjunto de barras.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

com o botão esquerdo do mouse.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para inverter**

Selecionam-se as barras a serem invertidas com o botão esquerdo do mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou se pressione a tecla <esc>.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará invertendo as barras selecionadas.

3.20. Comando RENUMERAR

Será utilizado para renumerar barras. Algumas vezes é interessante ao projetista ter um grupo de barras com números (nomes) ordenados. Para isso se criou essa ferramenta.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

com o botão esquerdo do *mouse*.

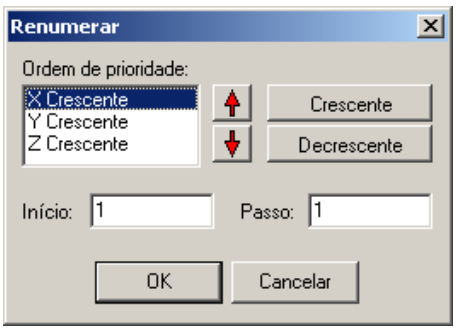
No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para renumerar**

Selecionam-se as barras a serem renumeradas com o botão esquerdo do mouse. Todas

as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito do mouse ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

Surgirá a seguinte *Janela de Diálogo:*



Deve-se declarar o *Início* – o novo número da primeira barra selecionada – e o *Passo* a diferença entre números de duas barras consecutivas.

Deve-se declarar, também, a prioridade para o sentido de renumeração. O exemplo acima renumera com passo crescente primeiro as barras na direção de X, depois Y e finalmente Z, da barra mais próxima para a mais distante da barra de referência.

É possível, no uso do comando **Renumerar**, a utilização de passo negativo (decrementos).

3.21 Comando NÓS SEMI-RÍGIDOS

Este comando permite que seja alterada a rigidez dos nós. Gerando para as barras que possuem estes nós, matrizes de rigidez modificadas em relação às matrizes convencionais.

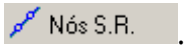
Como fonte de consulta para obtenção das matrizes modificadas foram utilizados os seguintes trabalhos:

- Mello, Wagner Luiz de; Requena, João Alberto Venegas. (1999): Análise de instabilidade de barras planas considerando as ligações semi-rígidas. Faculdade de Engenharia Civil - Departamento de Estruturas - Unicamp, Brasil.

- Monforton, G. R.; Wu, T. S.. Matrix Analysis of semi-rigidly Connected Frames. In: Journal of the Structural Division – Proceedings of the American Society of Civil Engineers, p. 12 -42, 1963.

- Pinheiro, Leonardo; Silveira, Ricardo A. M.. Computational Procedures for Nonlinear Analysis of Frames with Semi-Rigid Connections. Civil Engineering Program. Federal

University of Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ – Brazil. Civil Engineering Graduate Program – PROPEC – Departament of Civil Engineering - Federal University of Ouro Preto – Brazil.

Para usar esta ferramenta o usuário deverá clicar com o botão esquerdo do mouse no botão 

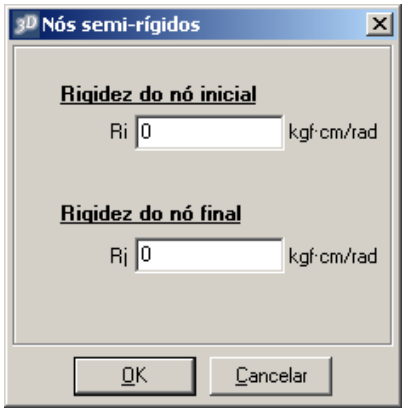
.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para inserir nós semi-rígidos**

Selecionam-se as barras com o botão esquerdo do mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

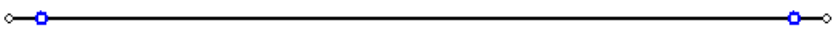
Confirma-se a seleção com o botão direito do mouse ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

Surgirá a seguinte *Janela de Diálogo:*



Assim declarar-se-ão as rigidezes nos nós inicial e, ou, final de determinada(s) barra(s).

Após a confirmação clicando-se sob o botão OK, as barras nas quais foram aplicados os nós semi-rígidos aparecerão com um círculo em azul nas extremidades:



3.22 Comando DESCONTINUIDADES

Este comando permite que sejam alteradas as descontinuidades nos extremos das barras. Estes tipos especiais de vinculação dizem respeito às solicitações nos extremos destas

peças e são permitidas de acordo com o tipo de estrutura em se queira empregá-las, conforme tabela a seguir:

Tipo de Estrutura	Translação x	Translação y	Translação z	Giro x	Giro y	Giro z
Grelha	não	não	sim	sim	sim	não
Terça	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Elemento de Concreto	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Pórtico Espacial	sim	sim	sim	sim	sim	sim

É importante observar que se todos os extremos de todas as barras conectadas a um nó tiverem uma mesma descontinuidade, ter-se-á um problema de singularidade na matriz de rigidez global. Assim, para rotular um nó, ao qual concorrem n barras, deve-se articular n-1 barras.

Para usar esta ferramenta basta clicar sob o botão

com o botão esquerdo do mouse.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para inserir descontinuidades**

Selecionam-se as barras com o botão esquerdo do mouse. Todas as barras que forem selecionadas ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito do mouse ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

Surgirá a seguinte *Janela de Diálogo:*

Nesta janela deverão ser marcadas as descontinuidades nos nós inicial e final das barras selecionadas.

Após a confirmação clicando-se sob o botão OK, as barras nas quais foram aplicadas as descontinuidades aparecerão com um círculo em vermelho nas extremidades:

3.23 Comando PRÉDIOS

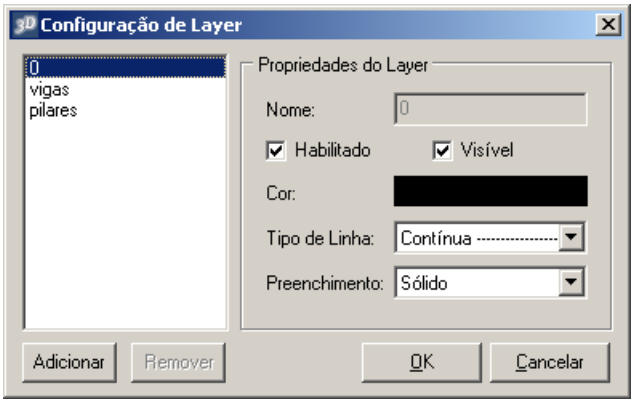
Clicando sob o ícone

chamará o módulo de prédios do **mCalc 3D** Este módulo será abordado com detalhes no capítulo 4 deste manual.

3.24 Edição de *Layers*

Para facilitar o trabalho de edição/manipulação da estrutura, o **mCalc 3D** permite que se crie diferentes *layers*, que podem ser aplicados aos elementos estruturais, tornando mais simples a sua identificação e seleção.

Clica-se sobre o botão para abrir a janela de edição de *layers*.



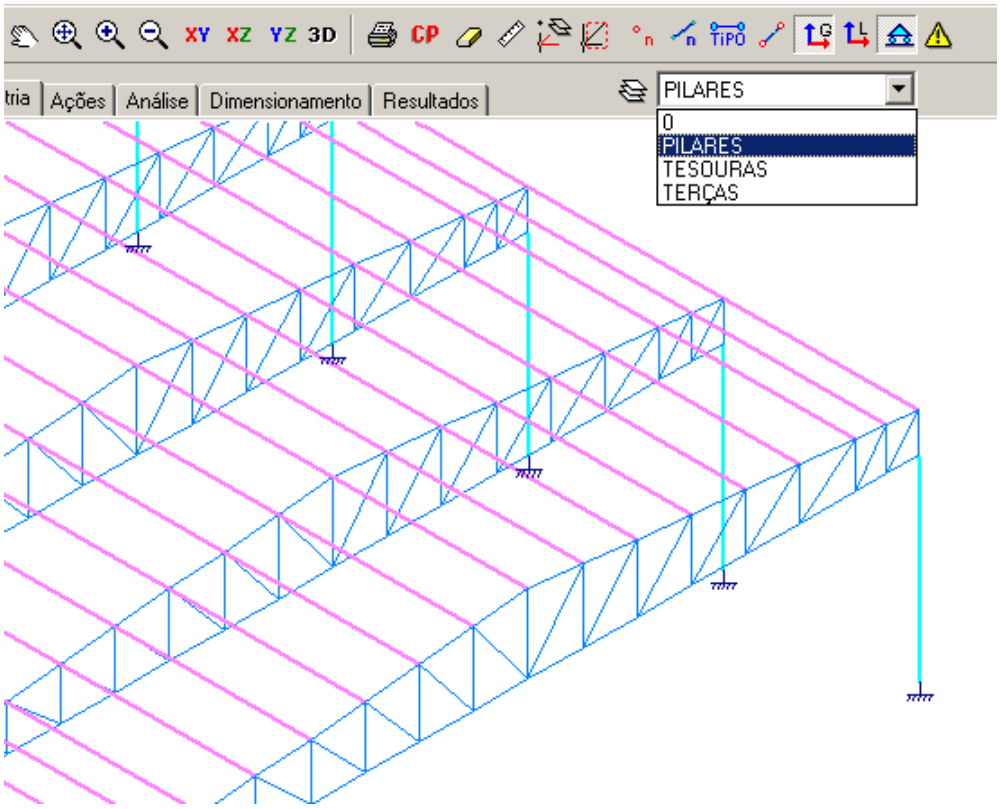
Para acrescentar novos *layers*, clica-se sobre o botão *Adicionar*. Deve-se então digitar um nome para o novo *layer*, escolher sua cor, estilo de linha e preenchimento. Podem-se adicionar quantos *layers* forem necessários.

Para remover um *layer*, basta selecioná-lo com um clique de mouse e clicar sobre o botão *Remover*. O *layer 0* é o *layer* padrão, e não pode ser editado ou removido.

Para tornar um *layer* invisível, deve-se desmarcar a caixa correspondente na janela de configurações. Desmarcando a opção *Habilitado*, as barras desenhadas com esse *layer* permanecerão visíveis, mas não poderão ser selecionadas para edição.

3.24.1 Aplicando *Layers* às barras

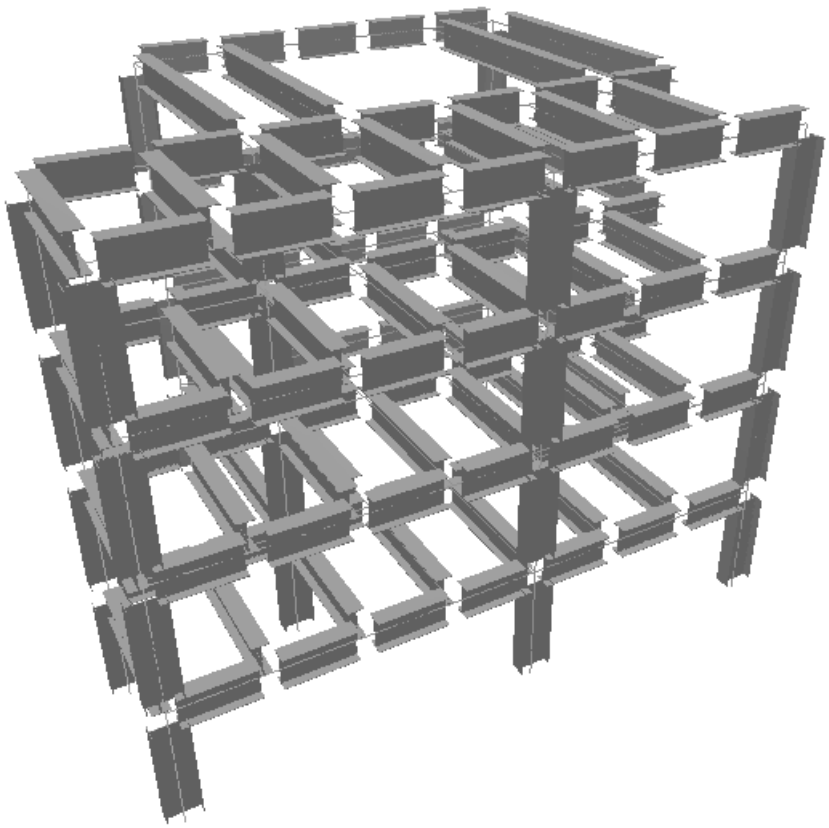
Após a criação de novos *layers*, pode-se aplicá-los a barras já existentes. Clicando na caixa de seleção de *layers*, seleciona-se o *layer* a ser aplicado, em seguida, selecionam-se as barras onde se deseja aplicar o *layer* e confirma-se com a tecla <*ENTER*>.



Novas barras serão criadas no *layer* ativo. Para trocar o *layer* ativo, basta clicar sobre o nome do *layer* na caixa de seleção e confirmar teclando <*ENTER*>.

CAPÍTULO 4.

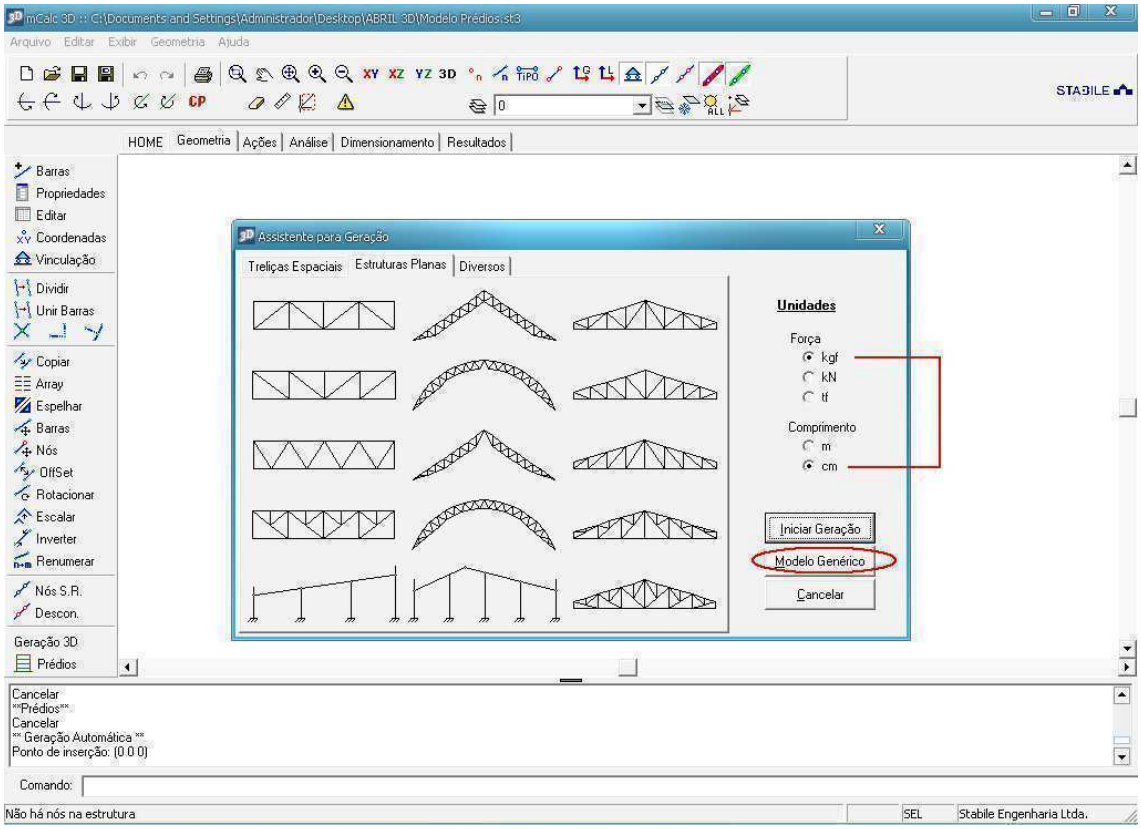
MÓDULO PRÉDIOS



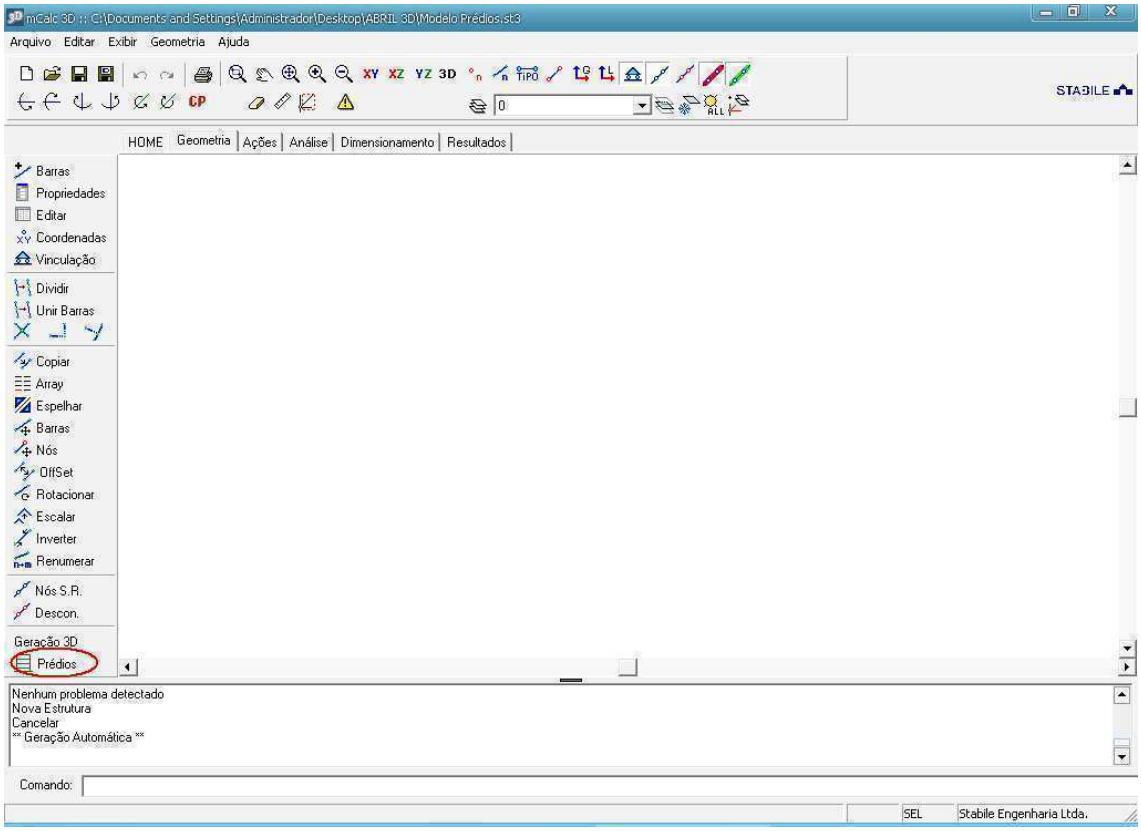
CAPÍTULO 4. MÓDULO PRÉDIOS

4.1. Introdução

O módulo de prédios do **mCalc 3D** é um pré-processador para pavimentos metálicos. Para iniciar a modelagem do prédio deve-se escolher a opção *Modelo Genérico* no assistente de projetos, da mesma forma, devem-se selecionar as unidades de força e comprimento com as quais irá se trabalhar.



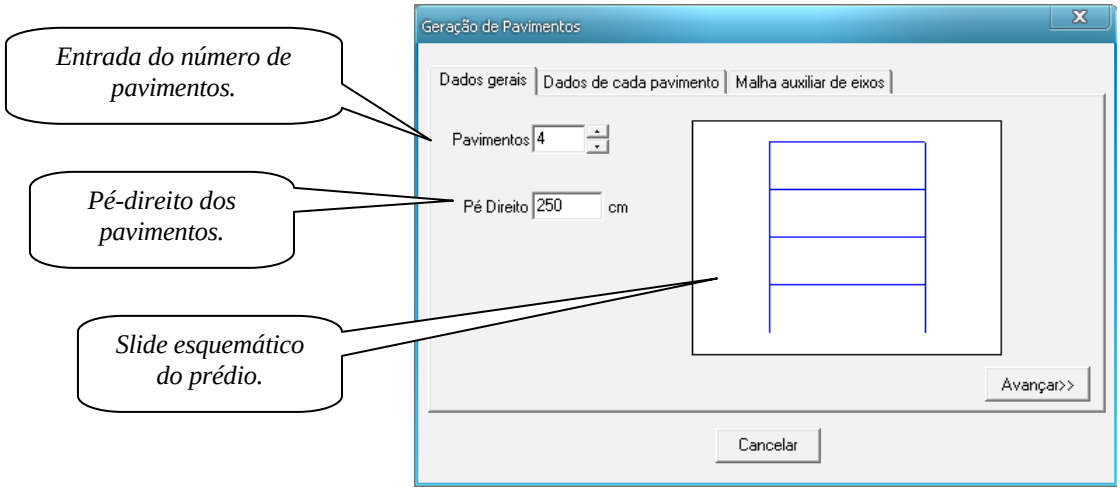
Após será apresentada uma tela em branco, na aba "HOME". Clica-se na aba "GEOMETRIA" e escolhe-se a opção "PRÉDIOS" no canto inferior esquerdo da tela.



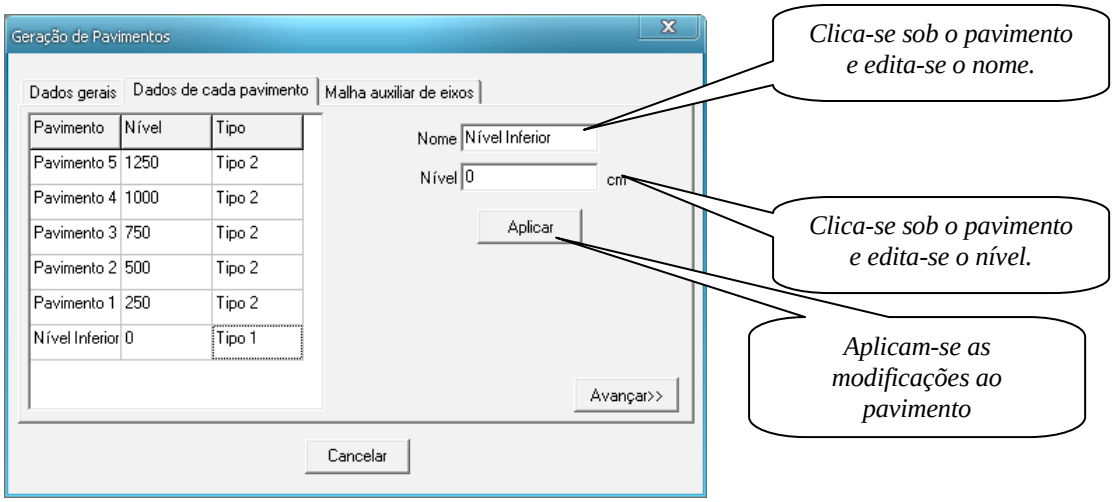
Assim que abre o módulo de prédios é exibida uma janela de Geração de Pavimentos. Esta ferramenta irá auxiliar o usuário a definir a geometria dos pavimentos, caso o usuário não desejar utilizá-la basta fechá-la e compor a geometria de cada pavimento do prédio a partir da janela principal do módulo.

4.2 GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE PAVIMENTOS

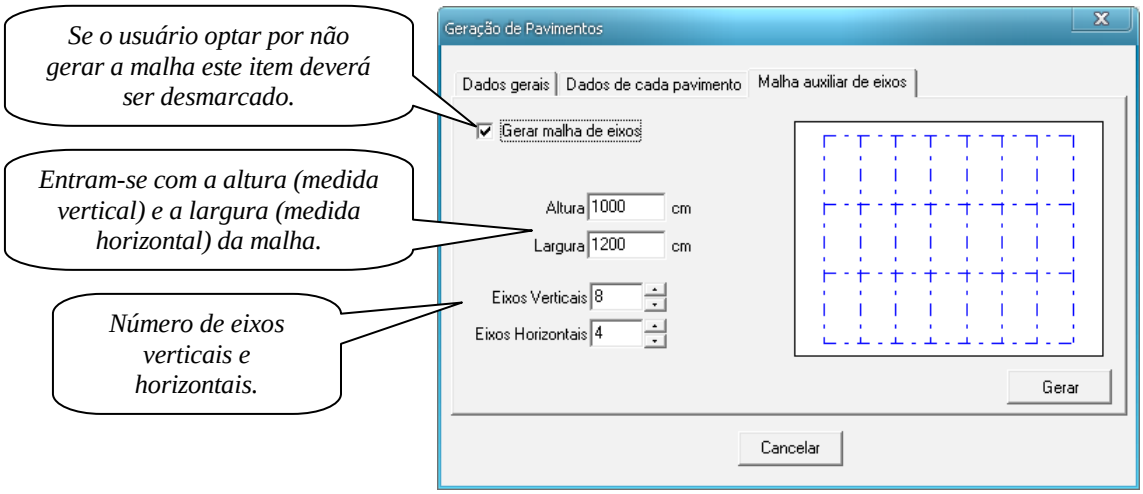
A geração automática de pavimentos é composta por três abas. Na primeira aba são definidos os dados gerais do prédio, ou seja, o número de pavimentos e o pé-direito entre eles.



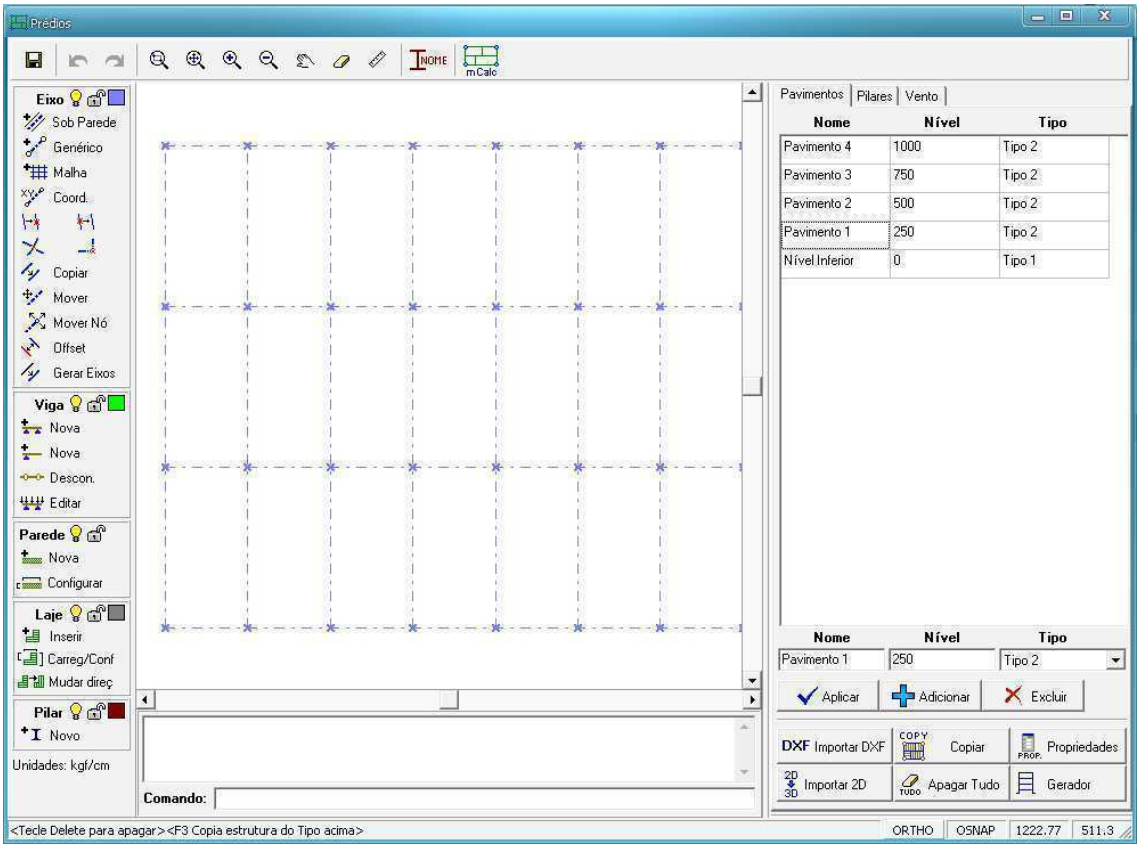
Na aba referente aos dados de cada pavimentos podem ser editados o nome do pavimento e o nível.



Na aba referente à malha auxiliar de eixos permite que seja gerada a geometria auxiliar para posteriormente inserção de vigas e pilares.


Se o usuário optar por não gerar a malha este item deverá ser desmarcado.
Entram-se com a altura (medida vertical) e a largura (medida horizontal) da malha.
Número de eixos verticais e horizontais.
Geração de Pavimentos
Dados gerais
Dados de cada pavimento
Malha auxiliar de eixos
Gerar malha de eixos
Altura 1000 cm
Largura 1200 cm
Eixos Verticais 8
Eixos Horizontais 4
Gerar
Cancelar

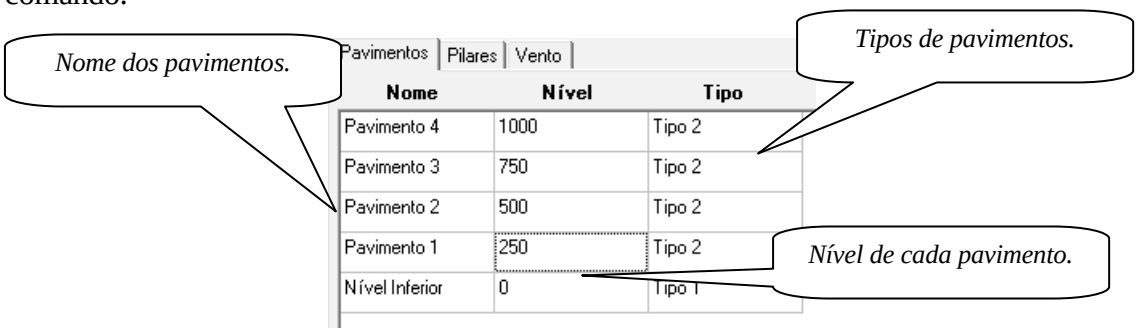
Após inserir os dados da Geração de Pavimentos clica-se no botão GERAR. Então as malhas dos pavimentos e demais dados serão apresentados na janela principal do módulo de Prédios.



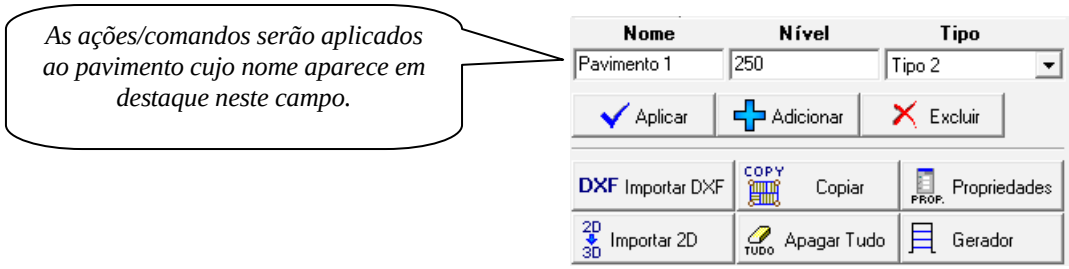
No canto superior direito desta janela observam-se 3 módulos: Pavimentos, Pilares e Vento. Cada módulo e seus comandos serão descritos a seguir.

4.3 COMANDOS GERAIS DO MÓDULO PAVIMENTOS

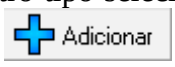
Os comandos da janela principal do módulo Prédios são aplicados aos pavimentos gerados. Estes estão listados no lado direto da tela. Sempre que se for aplicar algum comando deve-se, primeiramente, selecionar o pavimento ou o tipo de pavimento no qual se quer utilizar o comando.



Logo abaixo da lista de pavimentos existem alguns comandos que são aplicados sob esta lista.



4.3.1 Comando Adicionar pavimentos

Para adicionar novos pavimentos à lista deve-se preencher o nome do pavimento e o tipo ao qual ele pertence. Ele pode ser adicionado com um tipo já existente, ou se ele for de outro tipo seleciona-se a opção Novo Tipo. Após preencher os dados clica-se sob o botão 

e então este novo pavimento estará adicionado à lista.

4.3.2 Comando Aplicar

Utiliza-se o comando Aplicar para editar dados dos pavimentos já existentes, por exemplo no caso de se querer editar o nome de um pavimento deve-se

selecioná-lo na lista e alterar o nome, depois disso clica-se no botão

e nome será modificado. Da mesma forma procede-se para editar o nível ou o tipo de pavimento.

4.3.3 Comando Excluir pavimentos

Para excluir um pavimento da lista basta clicar sob ele e depois acionar o botão

.

4.3.4 Comando Importar DXF

Para criar um tipo de pavimento a partir de um arquivo dxf deve-se criar o pavimento e selecionar um tipo para ele, feito isso clica-se no botão

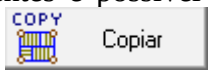
. Então surgirá uma janela através da qual indicará o caminho onde está salvo o arquivo DXF que se deseja importar para o pavimento. Seleciona-se o arquivo e clica-se em ABRIR.

Na barra de comandos será solicitado o ponto base para inserir o pavimento:

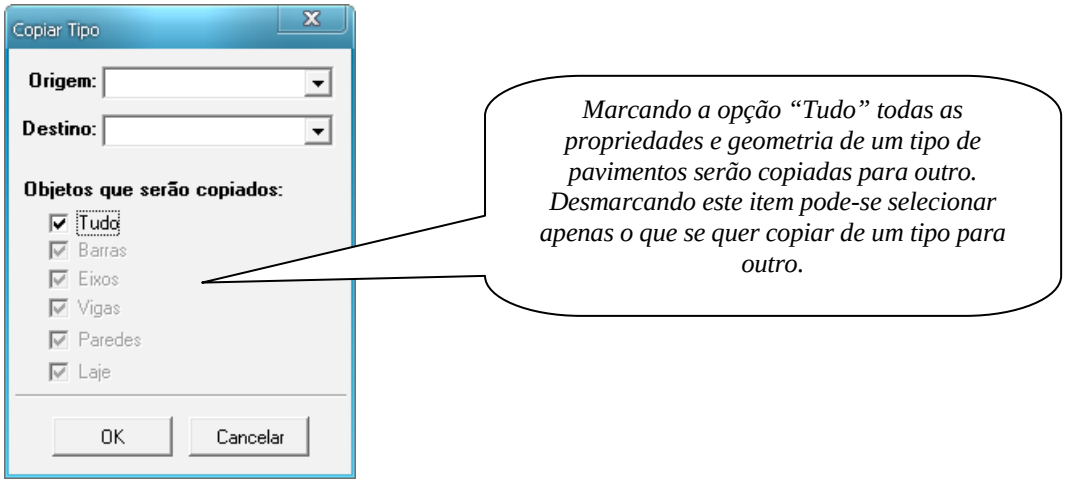
Após declarar o ponto base, será solicitado o fator de multiplicação do DXF:

O fator de multiplicação serve para compatibilizar as unidades de comprimento do desenho em DXF com as unidades com que se está trabalhando no módulo de Prédios. No caso do DXF estar na mesma unidade que o arquivo do Prédios, então o fator deverá ser um.

4.3.5 Comando Copiar Tipo de Pavimento

Caso se tenham pavimentos de tipos diferentes é possível copiar a geometria de um pavimento para outro. Clicando sob o botão 

surgirá uma janela na qual deverá selecionar o tipo de pavimento de qual quer se copiar as propriedades (origem) e também o tipo de pavimento que receberá estas propriedades.



4.3.6 Comando Propriedades

Através do botão Propriedades podem ser editadas as propriedades das barras. A princípio estão configurados os valores do módulo de elasticidade (E) e o módulo de elasticidade transversal (G) conforme a NBR 8800:2008 e as inércias e área com valores unitários já que não se sabe, por enquanto, os perfis que compõem vigas e pilares.

4.3.7 Comando Importar Pavimento do mCalc 2D

Para importar modelos de pavimentos gerados no **mCalc 2D** basta clicar no botão Importar 2D então abrirá uma janela para que o usuário indique o caminho onde está salvo o arquivo .em que será importado para o **mCalc 3D**

4.3.8 Comando Apagar Tudo

Clicando no botão Apagar Tudo o usuário poderá apagar todos os pavimentos gerados, caso ele confirme que deseja excluí-los.

4.3.9 Comando Gerador

Clicando no botão Gerador será chamado novamente o gerador de pavimentos, o

mesmo descrito no item 4.1.

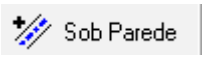
4.4 GERANDO PAVIMENTOS

O módulo de pavimentos do **mCalc 3D** tem função de pré processador para Pavimento Metálicos.
Com ele se poderá criar um modelo de pavimento, a partir da planta baixa do projeto arquitetônico, ou a partir da geração de uma malha de eixos.
O funcionamento desse módulo é simples, e pode ser resumido da seguinte forma:

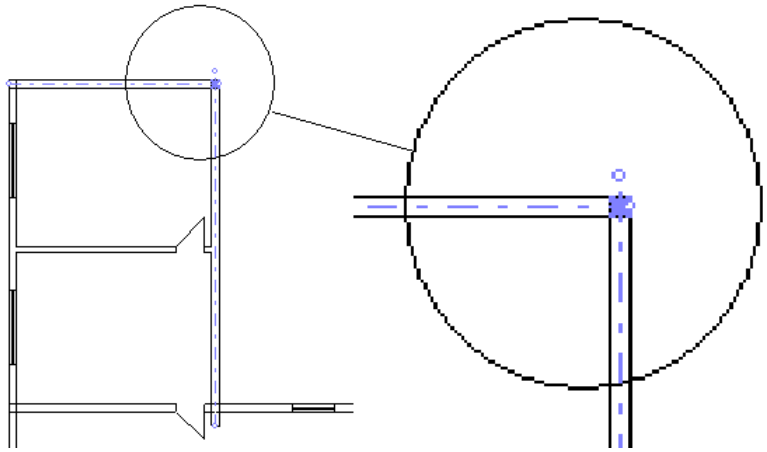
Operação

1. Geram-se eixos de referência sob as paredes de um projeto arquitetônico, ou gera-se uma malha de eixos.
2. Criam-se vigas nos eixos de referência
3. Criam-se "*lajes*" nas regiões formadas entre as vigas.
4. Declaram-se as ações distribuídas nas "*lajes*"
5. Criam-se paredes associadas às vigas.
6. Declaram-se as ações das paredes.
7. Declaram-se pilares (apoios) das vigas

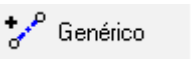
4.4.1 Ferramentas para geração de eixos



: este comando tem a função de criar eixo sob paredes. Clicando neste botão na barra de comandos será solicitado que se selecionem duas linhas, no caso as faces da parede. Selecionam-se as linhas com o botão esquerdo do mouse e depois se confirma a seleção com o botão direito, então o eixo será gerado na linha média da parede.



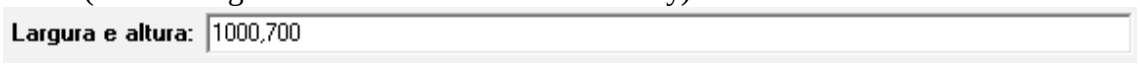
Eixos gerados sob paredes



: este comando cria eixos genéricos de ponto a ponto. Clica-se no botão e será solicitado na barra de comandos o ponto inicial e final do eixo.

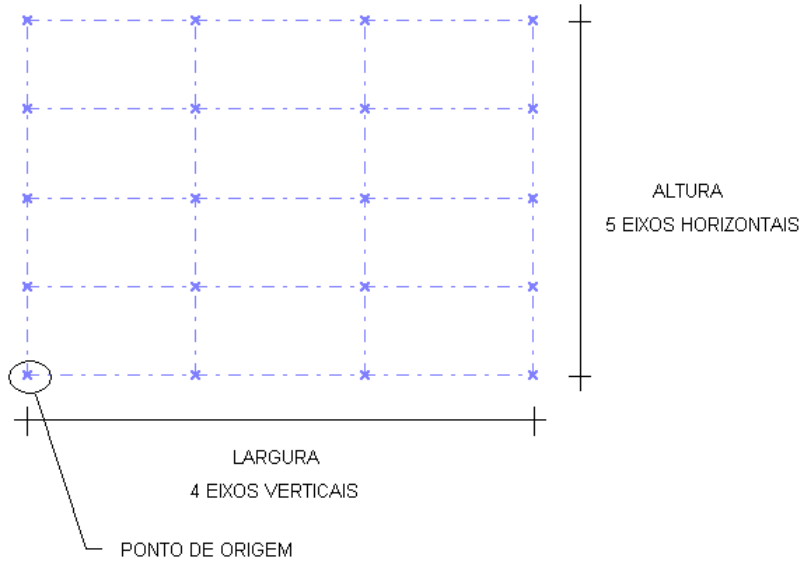
: este comando permite criar malhas. Clica-se neste botão e deve-se informar na barra de comandos, inicialmente, o ponto de origem, ou seja, o ponto inicial da malha (coordenadas x e y).

Depois será solicitado que se informe a largura e altura da malha; deve-se digitar: largura, altura (sendo a largura a distância em x e a altura em y).

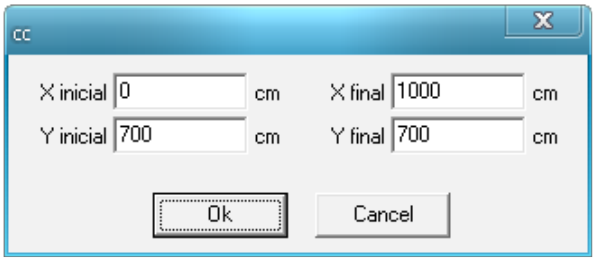


Finalmente, deve-se declarar o número de eixos na vertical e na horizontal.

Após declarar estes dados, a malha será gerada:



Coord. : este comando edita as coordenadas dos eixos. Seleciona-se o eixo, com o botão esquerdo do mouse, que se deseja editar as coordenadas, confirmando a seleção com o botão direito do mouse surgirá uma janela com as coordenadas iniciais e finais do eixo. Pode-se modificar estas coordenadas inserindo novos valores.



: comando divide eixos. Seleciona-se o eixo que se quer dividir com o botão esquerdo do mouse, confirma-se a seleção com o botão direito. Então na barra de comandos deve-se digitar em quantas partes se quer que o eixo seja dividido.

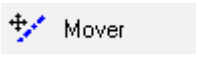
: comando unir eixos colineares. Selecionam-se, com o botão esquerdo do mouse, os eixos colineares que se quer unir. Confirmando a seleção com o botão direito os eixos serão unidos.

: comando corta eixo na interseção. Selecionam-se os eixos que se interceptam com o

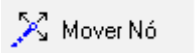
botão esquerdo do mouse. Depois se confirma a seleção com o botão direito.

: comando prolonga eixos até a interseção. Selecionam-se os eixos com o botão esquerdo do mouse. Confirmando a seleção com o botão direito, os eixos serão prolongados até que se interceptem.

: comando copiar eixos. Seleciona-se o eixo que se quer copiar com o botão esquerdo do mouse, após confirmar a seleção com o botão direito, será solicitada na barra de comandos que se selecione o ponto base para copiar. Clica-se no ponto inicial com o botão esquerdo do mouse, então o próximo ponto solicitado será o ponto final, ou seja, o ponto onde se quer colar a barra copiada. Para encerrar o comando confirma-se com o botão direito do mouse.



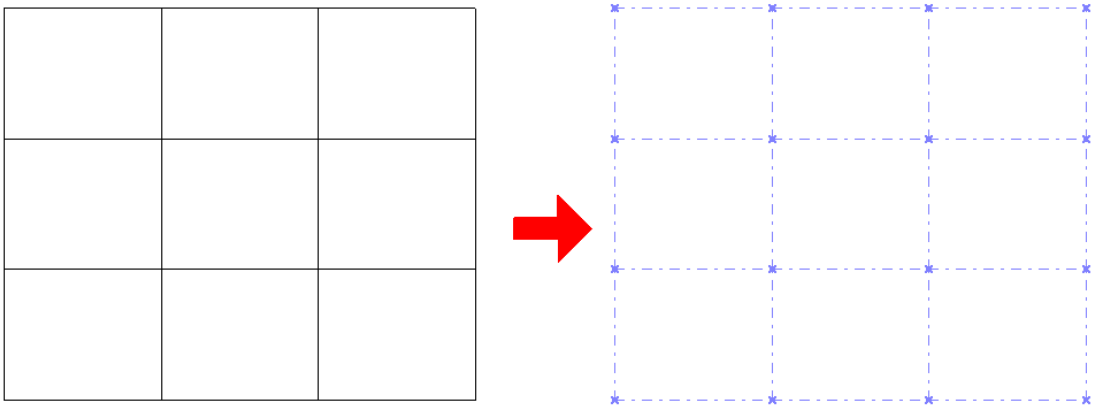
: comando mover eixos. Com o botão esquerdo do mouse seleciona-se o eixo que se quer mover. Confirmando a seleção com o botão direito, deve-se declarar o ponto base para movê-la, clica-se no ponto com o botão esquerdo e depois no ponto final. Encerra-se o comando com o botão direito do mouse.



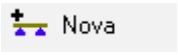
: comando mover extremidade do eixo. Seleciona-se, com o botão esquerdo do mouse, o eixo que se deseja mover a extremidade e confirma a seleção com o botão direito. Na barra de comandos será solicitado que se clique próximo a extremidade do eixo que se quer mover. Deve-se clicar com o botão esquerdo do mouse e nessa extremidade e depois no ponto final, para onde a extremidade será movida. Encerra-se o comando clicando com o botão direito do mouse.

: comando OFFSET. Será utilizado para copiar um eixo paralelo a si próprio com uma distância definida. Clica-se no botão e na barra de comandos deve-se definir a distância que se quer da barra original. Depois deve-se selecionar o eixo com o botão esquerdo e confirmar com o direito. Finalmente declara-se, clicando com o botão esquerdo na tela, a direção que se quer copiar.

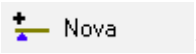
: comando gerar eixos. Este comando será utilizado para transformar linhas em eixos. Estas linhas podem ser trazidas de algum arquivo DXF ou importadas do **mCalc 2D**. Clica-se no botão e todas as linhas transformam-se em eixos:



4.4.2 Ferramentas para gerar e editar vigas



: comando criar viga a partir de 2 interseções. Para se criar vigas basta clicar próximo de duas intersecções de eixos colineares. Ao se clicar próximo da primeira intersecção ela trocará de cor, ficando vermelha.



: comando criar viga a partir de 1 interseção e 1 eixo. Para se criar vigas basta clicar próximo de uma interseção e um eixo. Ao se clicar próximo da intersecção ela trocará de cor, ficando vermelha.

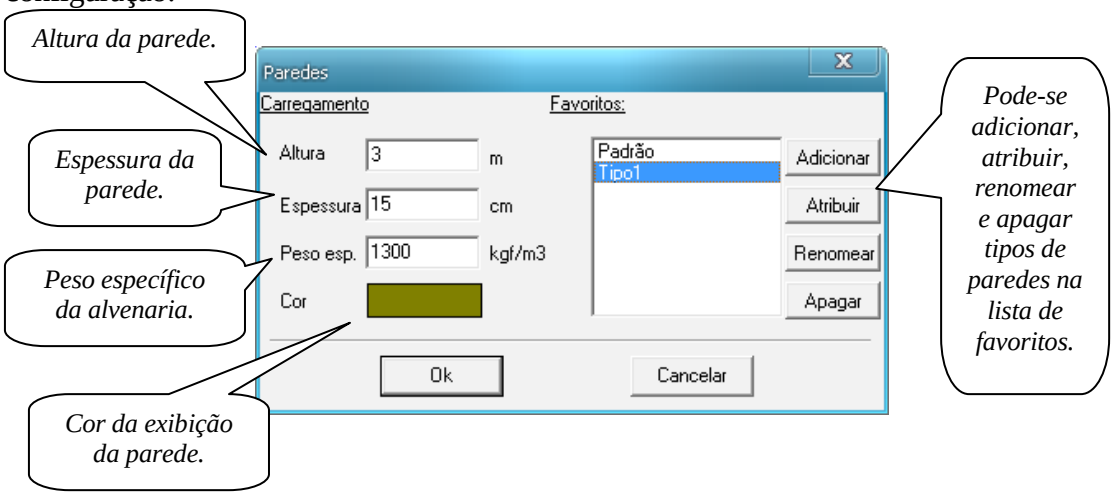
: comando criar descontinuidade. Este comando deverá ser aplicado quando houver a necessidade de usar uma descontinuidade (rótula) na direção do giro em relação ao eixo y. Para aplicar a descontinuidade basta selecionar a barra com o botão esquerdo do mouse e confirma a seleção com o direito, na barra de comandos será solicitado que clique próximo ao(s) extremo(s) da viga que terá a(s) descontinuidade(s), então surgirá um círculo em vermelho indicando a descontinuidade. Para encerrar o comando clica-se com o botão direito do mouse.

: comando editar vigas. Neste comando deve-se declarar se a viga é mista ou é viga de aço. Para ambos os tipos de vigas entra-se com o peso próprio, caso a viga seja de aço e travada pela laje, então, adicionalmente, declara-se o comprimento travado.

4.4.3. Ferramentas para gerar e editar paredes

Nova : comando criar parede. Para criar paredes basta selecionar as vigas sob as quais se deseja criar paredes com o botão esquerdo do mouse, confirmando a seleção com o botão direito.

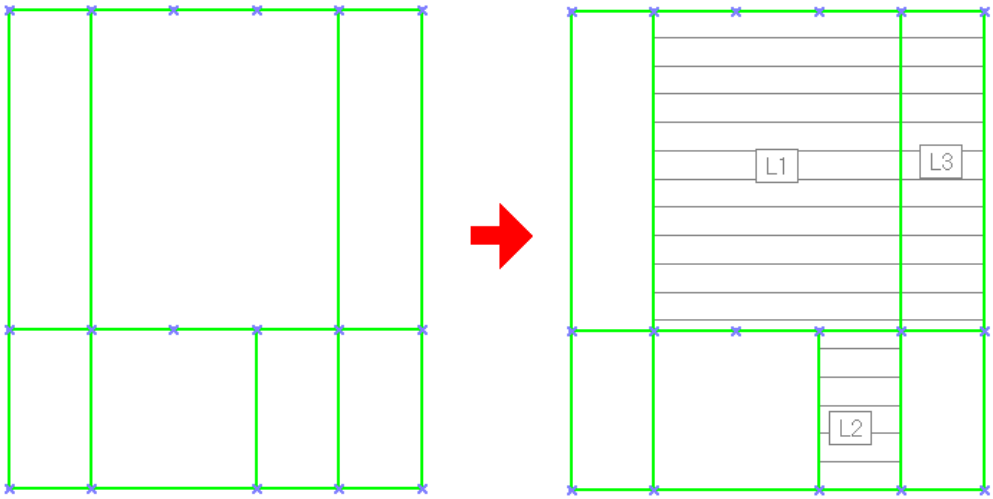
Configurar : comando configurar paredes. Selecionam-se as paredes a configurar com o botão esquerdo do mouse, confirmando com o direito aparecerá uma janela de configuração:



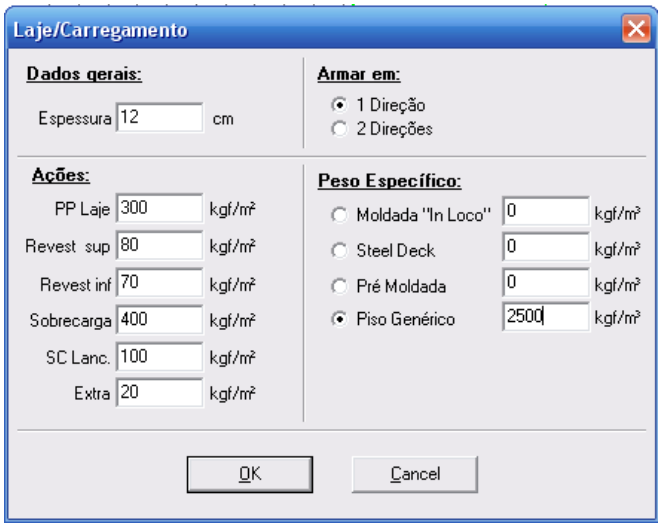
Confirma-se a configuração das paredes clicando no botão OK.

4.4.4. Ferramentas para gerar e editar lajes

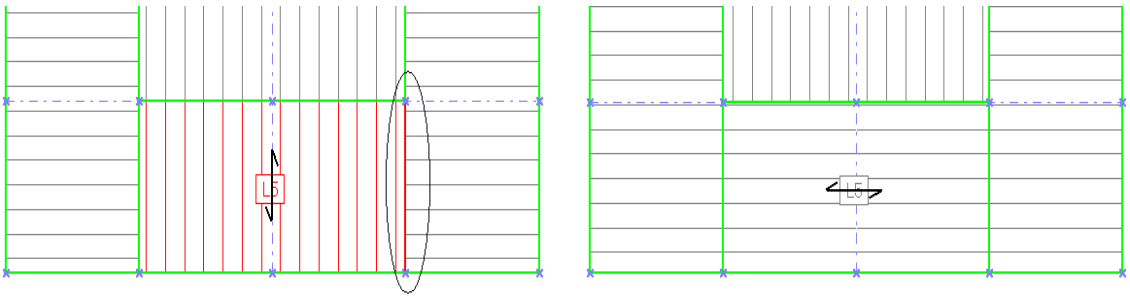
Inserir : comando inserir lajes. Para inserir lajes basta clicar na região delimitada por vigas com o botão esquerdo do mouse. As lajes serão numeradas na ordem em que foram criadas.



] Carreg/Conf : comando carregar e configurar lajes. Para carregar e configurar a laje deve-se selecionar a laje com o botão esquerdo do mouse, confirmando a seleção com o botão direito surgirá uma janela para inserir os dados daquela laje selecionada:

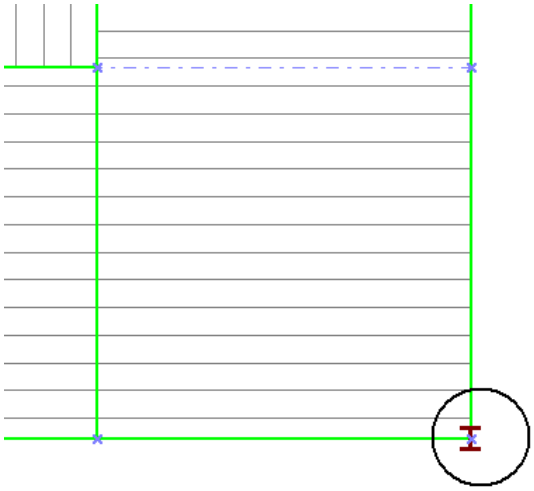


Mudar direç: comando mudar direção de armação da laje. Quando as lajes estiverem armadas em uma direção é possível trocar esta direção através deste comando. Seleciona-se a laje com o botão esquerdo do mouse e confirma-se a seleção com o botão direito. Será solicitada na barra de comandos que selecione uma viga de referência que será perpendicular a nova direção. Selecionando a viga com o botão esquerdo e confirmando com o direito o sentido da armação será trocado.



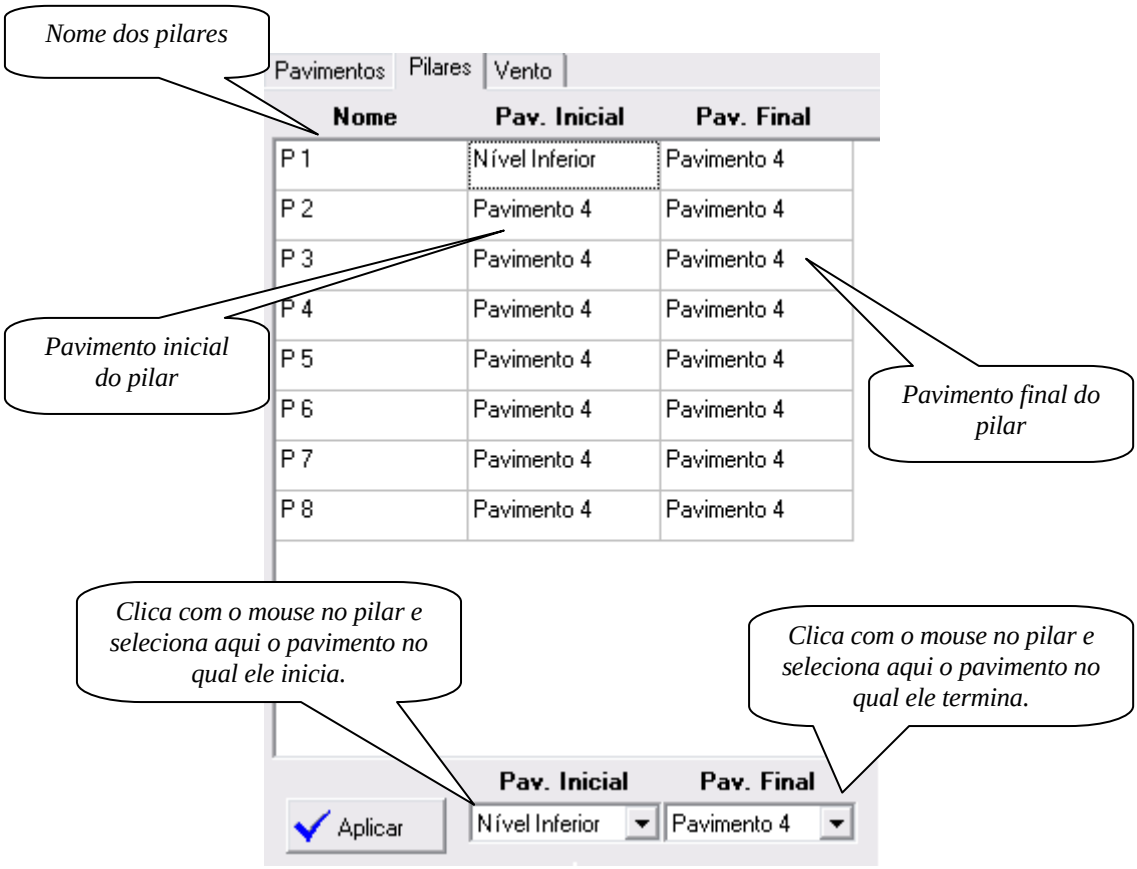
4.4.5. Ferramentas para inserir pilares

Novo: comando inserir pilares. Para inserir pilar basta clicar no nó com o botão esquerdo do mouse, confirmando a seleção com o botão direito aparecerá a figura representando o pilar.



4.5 MÓDULO PILARES

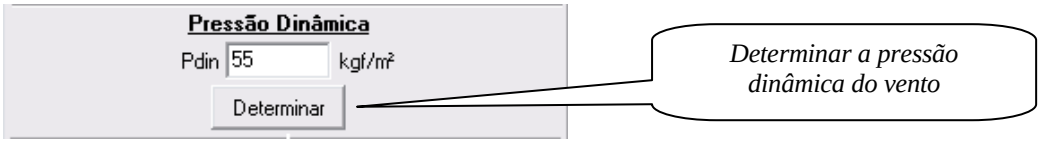
No módulo Pilares o usuário deverá indicar em quais pavimentos inicia e termina os pilares.

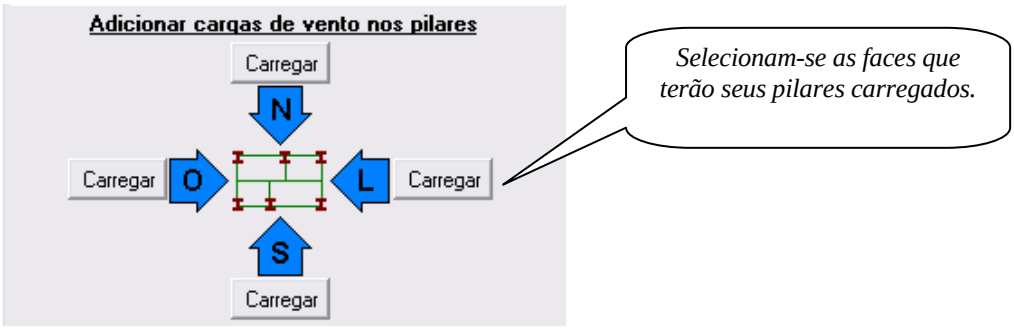


Para copiar de um pilar para outro o início e fim pode-se clicar na tecla F3.

4.6 MÓDULO VENTO

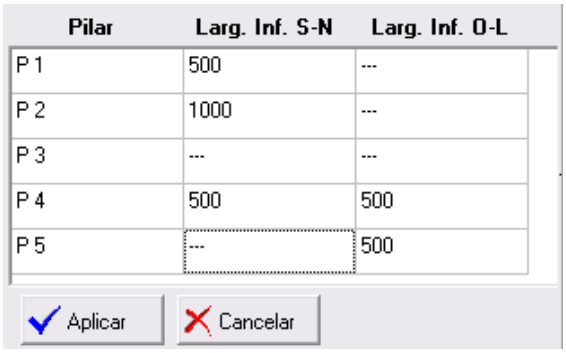
No módulo Pilares o usuário deverá declarar os dados do vento para carregar os pilares.





Clica-se no botão CARREGAR e na barra de comando é solicitado que se selecionem os pilares da face em questão. Selecionam-se os pilares com o botão esquerdo do mouse e confirma-se com o botão direito. Em seguida será pedido que se selecionem os pilares da face que serão carregados.

Depois de selecionar os pilares carregados em cada face as larguras de influência são calculadas automaticamente. Estes valores podem ser editados pelo usuário.



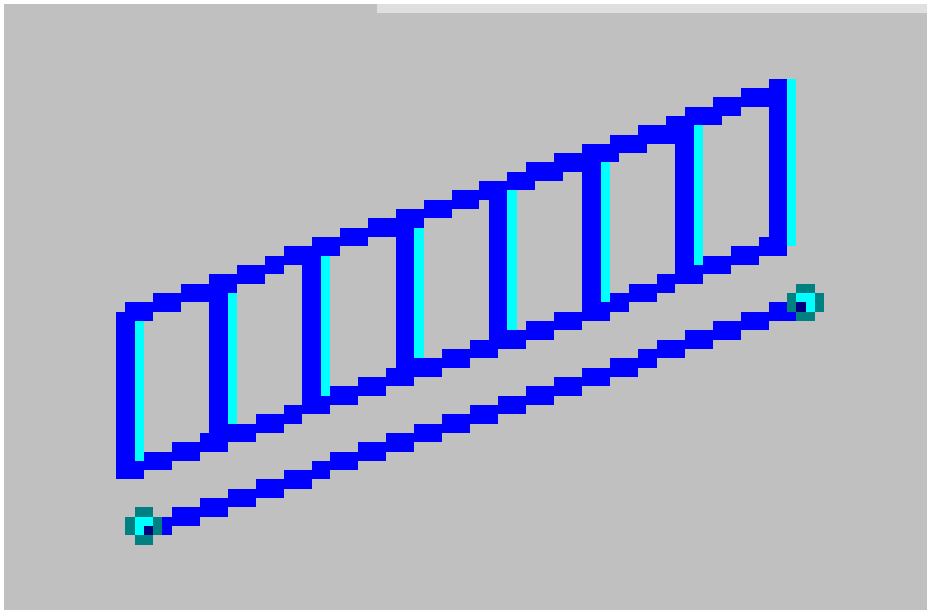
Pilar	Larg. Inf. S-N	Larg. Inf. O-L
P 1	500	---
P 2	1000	---
P 3	---	---
P 4	500	500
P 5	---	500

Aplicar Cancelar

Para finalizar os dados do carregamento nos pilares deve-se declarar os coeficientes de arrasto para o vento longitudinal e transversal. Estes coeficientes são calculados automaticamente depois que o usuário determina se o vento é de baixa ou alta turbulência. Estes coeficiente podem ser editados.

CAPÍTULO 5.

MÓDULO AÇÕES



CAPÍTULO 5. MÓDULO AÇÕES

5.1. Introdução

Para o **mCalc 3D** as ações são as forças externas aplicadas à estrutura.

Com o **mCalc 3D** podem-se definir infinitos estados de ações distintas, que poderão ser combinados, livremente, no módulo **Análise**.

Em cada estado de ações, a estrutura poderá ser carregada com **Ações Concentradas** nos nós ou **Ações Distribuídas** nas barras. As ações concentradas devem ser declaradas no sistema de eixos global da estrutura, enquanto as ações distribuídas podem ser declaradas no sistema de eixos local de cada barra ou no sistema de eixos global da estrutura.

Para tal, é necessário clicar na opção **Ações** com o botão esquerdo do mouse, aparecendo na tela as diversas opções oferecidas por esse módulo.

5.2. Comando AÇÃO CONCENTRADA

Será utilizado para adicionar as ações concentradas no(s) nó(s) correspondentes já existentes.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão Ação Concentrada

com o botão esquerdo do mouse.

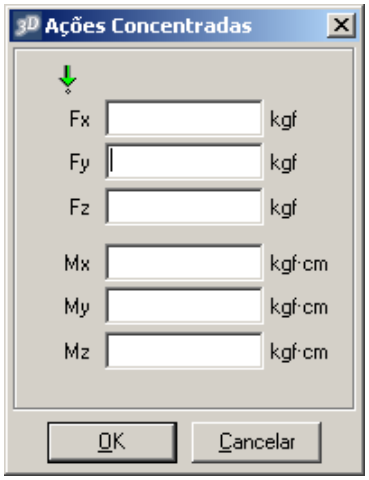
No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Ação concentrada**

Seleciona-se o(s) nó(s) a serem carregados com as ações concentradas com o botão esquerdo do mouse. Todos os nós que forem selecionados ficarão desenhadas com um círculo vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

Aparecerá uma *janela de diálogo* onde se deve informar o valor e sentido das forças Fx, Fy e Fz, além dos momentos em torno dos eixos x, y e z.

Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou pressione-se a tecla <esc>.



Enquanto o comando estiver ativo ele continuará permitindo que se coloquem as ações concentradas no(s) nó(s) selecionados.

5.3. Comando VALOR A.C. (valor da Ação Concentrada)

Clicando-se sobre o botão

o programa exibirá o valor (em módulo) das ações concentradas.

5.4. Comando AÇÃO DISTRIBUÍDA

Será utilizado para adicionar as ações distribuídas na(s) barra(s) correspondentes já existentes.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão Ação Distribuída

com o botão esquerdo do mouse.

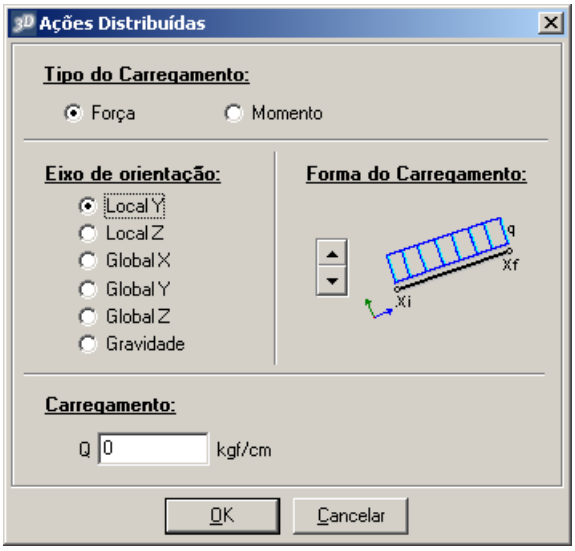
No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras**

Seleciona-se a(s) barra(s) a serem carregadas com as ações distribuídas com o botão esquerdo do mouse. Todos as barras que forem selecionados ficarão desenhadas em vermelho.

Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

Aparecerá uma *janela de diálogo* onde se deve informar o tipo de carregamento, o eixo de

orientação, a forma e o valor do carregamento.



Em relação ao tipo de carregamento estão disponíveis forças e momentos.

As forças distribuídas podem ser orientadas nos eixos locais Y e Z das barras, ou segundo orientação global X, Y ou Z. E ainda, está disponível força gravitacional (distribuída em relação ao eixo Z global).

Para carregar as barras com momento torsor distribuído ao longo delas deverá ser setada a opção de carregamento tipo momento na janela de ações distribuídas. Este tipo de carregamento estará atuando em torno do eixo X local da barra.

As formas de carregamento para as forças distribuídas podem ser uniformemente distribuída ou não. No caso de caso carregamento uniforme será solicitado um valor Q em unidades de força/comprimento. Já no caso de cargas distribuídas não uniforme será solicitado que o usuário forneça um valor inicial, $Q_{inicial}$, e um valor final, Q_{final}.

Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou pressione-se a tecla <esc>.

5.5. Comando VALOR A.D. (valor da Ação Distribuída)

Clicando-se sobre o botão

o programa exibirá o valor (em módulo) das ações distribuídas.

5.6. Comando COPIAR AÇÃO

Uma ferramenta muito útil desse módulo é a ferramenta

.

A exemplo dos módulos *Geometria* e *Dimensionamento*, no módulo AÇÕES com essa ferramenta copiam-se propriedades de uma barra para outra(s). Nesse módulo, como a propriedade de uma barra é uma ação, será possível copiar essa ação para outra barra qualquer.

Para copiar uma ação de um nó para outro ou de uma barra para outra basta:

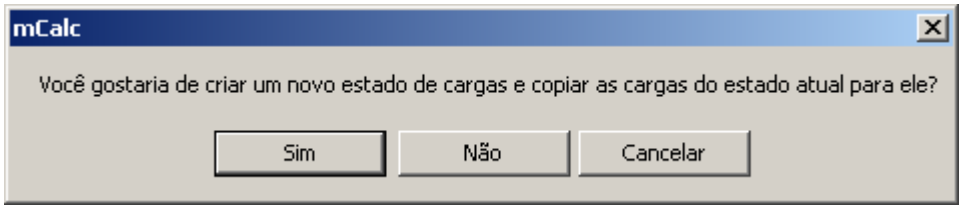
- ativar o comando, clicando-se sobre o botão <CP>
- selecionar o nó ou barra que se quer copiar a ação
- selecionar o(s) nó(s) ou barra(s) que se quer aplicar (colar) a ação.

5.7. Comando COPIAR ESTADO

Pode-se copiar um estado de ações (inteiro) para se criar outro estado ou se sobrepor um estado de ações sobre um estado já criado.

Para se copiar um estado de ações deve-se estar nesse estado e ativar o comando **Copiar Estado**.

Surgirá a mensagem:



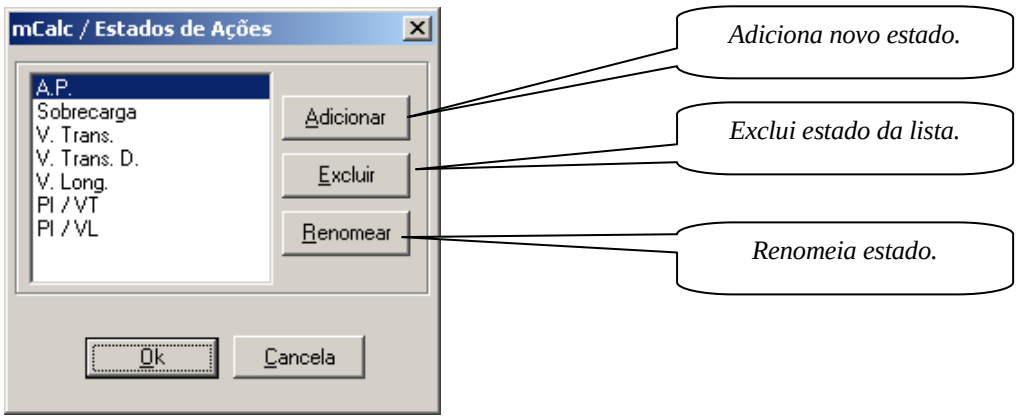
Clicando em *Sim*, um novo estado de cargas, idêntico ao original, será criado. Clicando em *Não*, deve-se apontar um estado existente que terá seu carregamento sobreposto pelo do estado copiado.

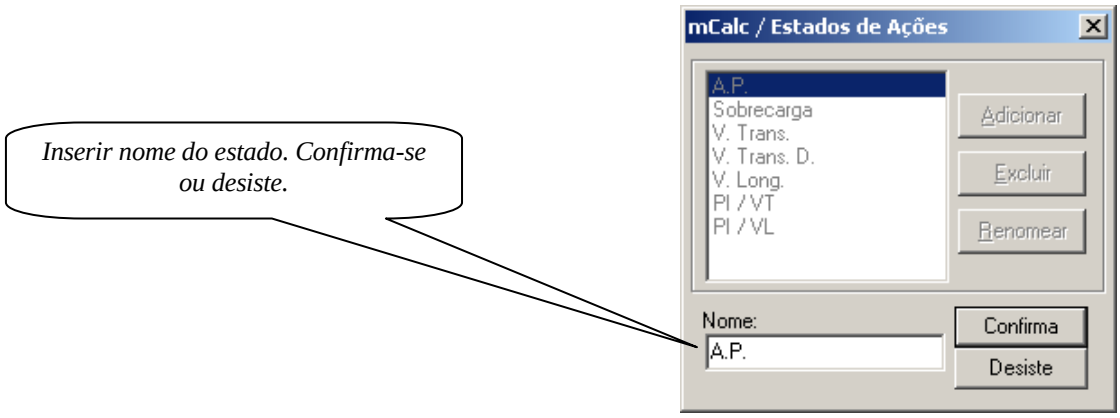
5.8. Comando DEFINIÇÃO DO ESTADO DE AÇÕES

Será utilizado para se editar os diversos estados de ações.

Para adicionar, excluir, renomear ou excluir estados de ações, clica-se duas vezes com o botão esquerdo do *mouse* sobre o nome de um dos estados existentes.

Na janela que se abre, conforme figuras abaixo, pode-se criar e nomear quantos estados forem necessários para o carregamento da estrutura.

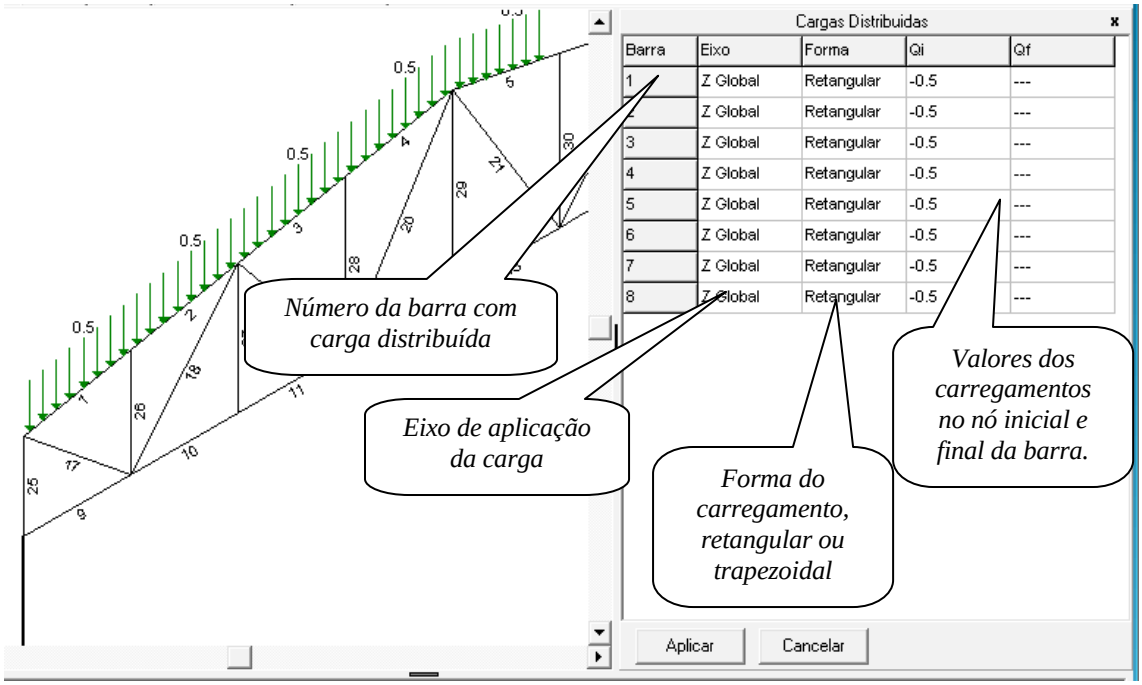




5.9. Comando EDITAR CARGAS DISTRIBUÍDAS

Acionando o botão

aparecerá no canto direito da tela uma planilha que permitirá ao usuário editar o valor das cargas distribuídas na estrutura:

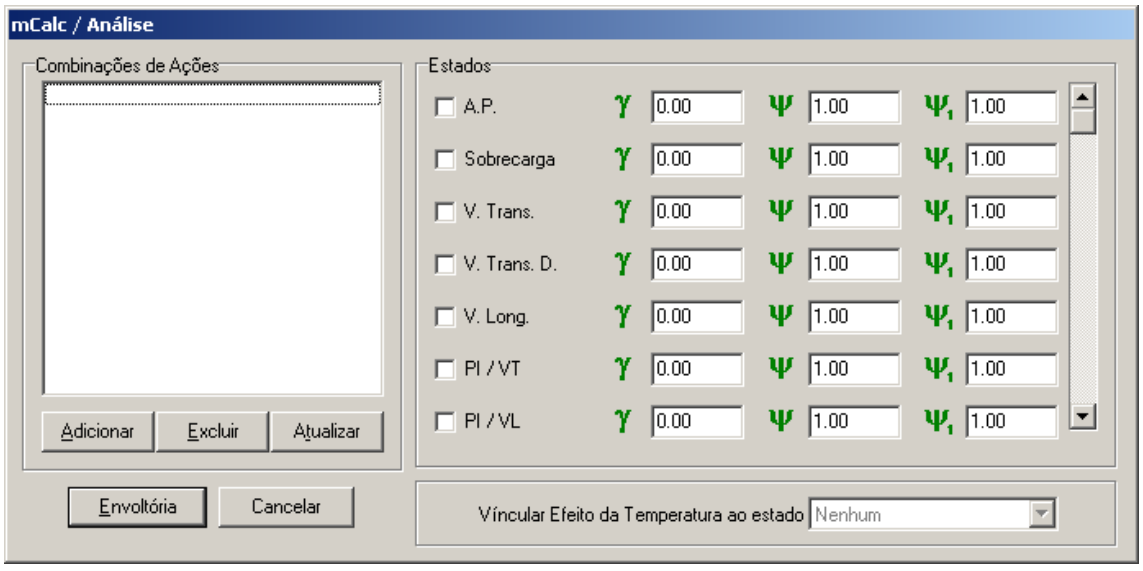

Cargas Distribuidas
Barra | Eixo | Forma | Qi | Qf
1 | Z Global | Retangular | -0.5 | ---
2 | Z Global | Retangular | -0.5 | ---
3 | Z Global | Retangular | -0.5 | ---
4 | Z Global | Retangular | -0.5 | ---
5 | Z Global | Retangular | -0.5 | ---
6 | Z Global | Retangular | -0.5 | ---
7 | Z Global | Retangular | -0.5 | ---
8 | Z Global | Retangular | -0.5 | ---
Aplicar
Cancelar
Número da barra com carga distribuída
Eixo de aplicação da carga
Forma do carregamento, retangular ou trapezoidal
Valores dos carregamentos no nó inicial e final da barra.

Após editar os valores das cargas clica-se no botão APLICAR para confirmar a edição, ou no botão CANCELAR para manter o carregamento e não assumir as modificações.

CAPÍTULO 6.

MÓDULO ANÁLISE

$$P = K u$$



CAPÍTULO 6. MÓDULO ANÁLISE

6.1. INTRODUÇÃO

A análise do sistema **mCalc 3D** - análise elástica-linear - é feita pelo *Método da Rigidez Direta*, que é uma sistematização do *Método dos Deslocamentos*.

Ao se estudar uma estrutura pelo Método da Rigidez, assim como em qualquer outro problema da Elasticidade Linear, três conjuntos de equações devem ser satisfeitos:

1. Equações de Equilíbrio

2. Equações de Compatibilidade

3. Equações Constitutivas

As *Equações de Compatibilidade* relacionam as deformações com os deslocamentos nodais. Introduzindo estas relações nas *Equações Constitutivas* relacionam-se as forças nos extremos das barras com os deslocamentos nodais. Introduzindo-se estas últimas nas *Equações de Equilíbrio*, obtém-se um conjunto de equações que relacionam forças com deslocamentos nodais.

Esse conjunto de equações pode ser considerado como o sistema de equações de equilíbrio da estrutura expressa em função dos deslocamentos. A solução desse sistema - objetivo de um programa de análise - fornece os valores das incógnitas do problema: deslocamentos nodais. De posse dos deslocamentos, pode-se obter as solicitações no extremo das barras, bem como as reações nodais.

Na análise de uma estrutura pelo *Método da Rigidez* têm-se, basicamente, seis etapas:

1ª Etapa: *Identificação Estrutural*:

- Coordenadas nodais
- Conetividades dos elementos
- Propriedades Geométricas das seções
- Constantes elásticas do material
- Especificação dos vínculos
- Descrição das ações

A etapa de Identificação Estrutural, denominada nesse sistema módulo **Geometria**, foi descrita no **Capítulo 3**.

2ª Etapa: *Cálculo da matriz de rigidez do elemento e do vetor das ações nodais equivalentes.*

3ª Etapa: *Montagem da matriz de rigidez da estrutura e do vetor de ações da estrutura* (matriz global e vetor de ações global).

4ª Etapa: *Introdução das condições de contorno* (vinculação).

5ª Etapa: *Solução do sistema de equações.*

6ª Etapa: *Cálculo das solicitações nos extremos das barras e das reações nodais.*

As etapas 2 até 6 são procedidas pelo módulo **Análise** do sistema **mCalc 3D**.

Ao se selecionar esse módulo o sistema, automaticamente, inicia o processo de análise, que não interage com o usuário.

6.2. COMBINAÇÕES DE AÇÕES

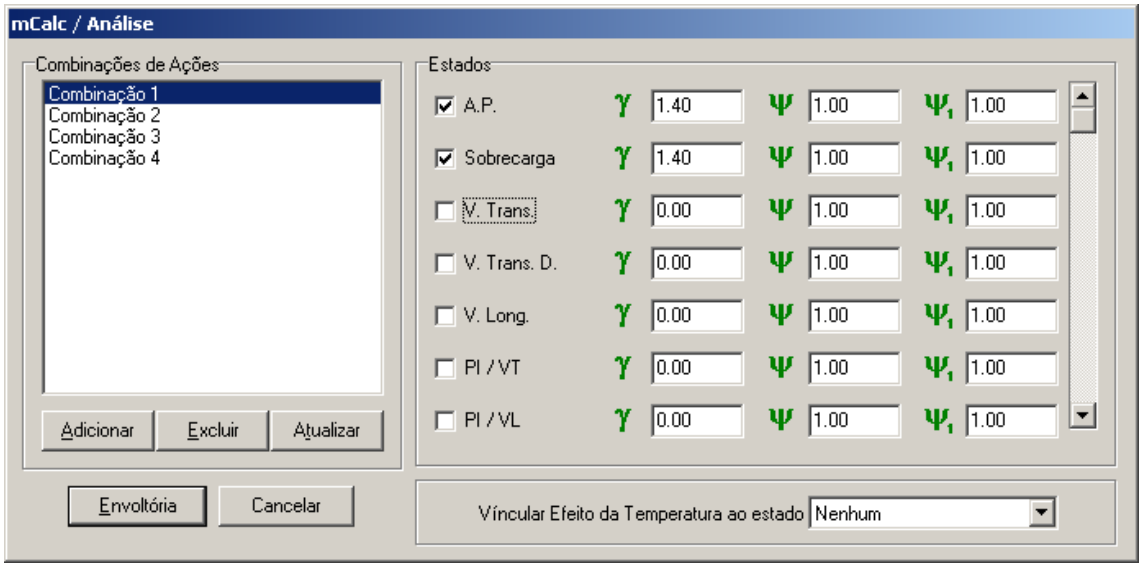
Após de passar pelas 5 etapas, o sistema aguardará que se indique as combinações de ações que o cálculo dessa estrutura requer, i.e., no módulo de **Ações** declararam-se os estados de ações que atuam na estrutura.

Nessa fase, existe a possibilidade de combinar (ponderar e somar) um estado com outro, com o intuito de reproduzir um carregamento real na estrutura. Por exemplo: imagina-se uma estrutura submetida a 2 estados de ações: Ação Permanente (AP) e Vento. Não interessa, para o dimensionamento dessa estrutura, conhecer-se só os resultados da ação AP ou da ação Vento.

O estado de ação Vento **nunca** ocorrerá sozinho, pois ele sempre atuará, na estrutura, junto com o estado AP. E para se ter resultados compatíveis com o que ocorrerá na realidade, deve-se somar os resultados da ação do Vento com os da ação do AP.

Essa é a filosofia da etapa Combinação de Ações: permitir que se combine qualquer ação com outra somando, no máximo, até o número de estados de ações em cada combinação. Não existe limitação quanto ao número de combinações a serem criadas.

As combinações de ações deverão ser declaradas na *janela de diálogo* que segue:



Para compor-se uma combinação de ações selecionam-se os estados de ações, e, depois, declaram-se os valores dos respectivos Coeficiente de Ponderação e Fatores de Combinação. Após ter-se apontado os estados de ações pressiona-se no botão *Adicionar* para colocar a combinação na lista de combinações dessa estrutura.

Na primeira coluna, declaram-se os coeficientes de ponderação para dimensionamento (estados limites últimos).

Na segunda coluna, declaram-se os fatores de combinação para os estados selecionados.

Na terceira coluna, declaram-se os coeficientes de ponderação para os estados limites de serviço.

Caso deseja-se verificar/editar as combinações, clica-se sobre as diversas combinações existentes. Se houver algum valor para alterar, coloque o valor correto que será alterado e clica-se com o botão esquerdo do mouse sobre <Atualizar>.

Caso o usuário tenha declarado no módulo Geometria que será considerado o efeito da temperatura então ele deverá escolher a qual estado irá ser vinculado este efeito. Dessa forma, o carregamento devido a temperatura se somará ao estado selecionado.

Os Coeficientes de Ponderação e Fator de Combinação informados permitem que se atenda, ao analisar a estrutura, a **NBR 8681:1987- Norma de Ações e Segurança,** possibilitando que cada estado, numa combinação, tenha as forças com a ponderação necessária.

Deverão ser consultados os coeficientes e fatores nas normas de perfis formados a frio e na de projeto de estruturas de aço, tanto para dimensionamento quanto para determinação de flechas.

A ponderação não atua sobre as reações.

O m**Calc 3D** permite que se crie quantas combinações se queira.

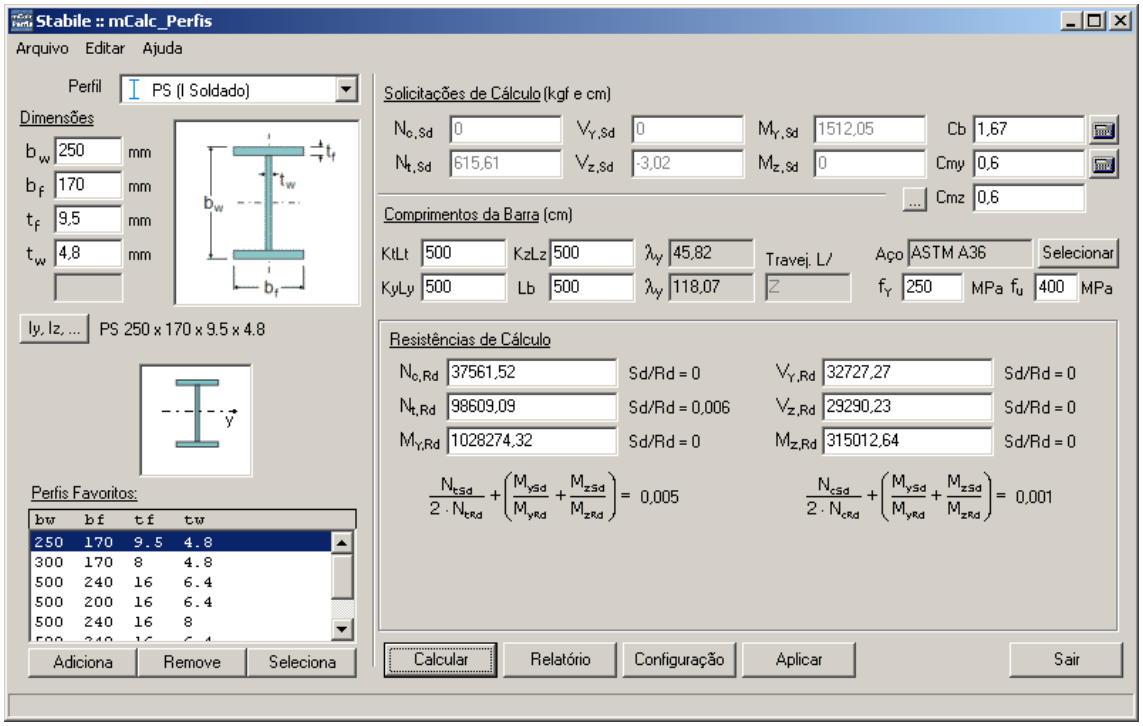
6.3. ENVOLTÓRIA DOS MÁXIMOS E MÍNIMOS

Concluída a informação das Combinações de Ações clica-se sob o botão

para criar, automaticamente, a **Envoltória de Máximos e Mínimos** que vem a ser a compilação, numa tabela, dos resultados máximos e mínimos de cada combinação de ações nó por nó e barra por barra.

CAPÍTULO 7.

MÓDULO DIMENSIONAMENTO

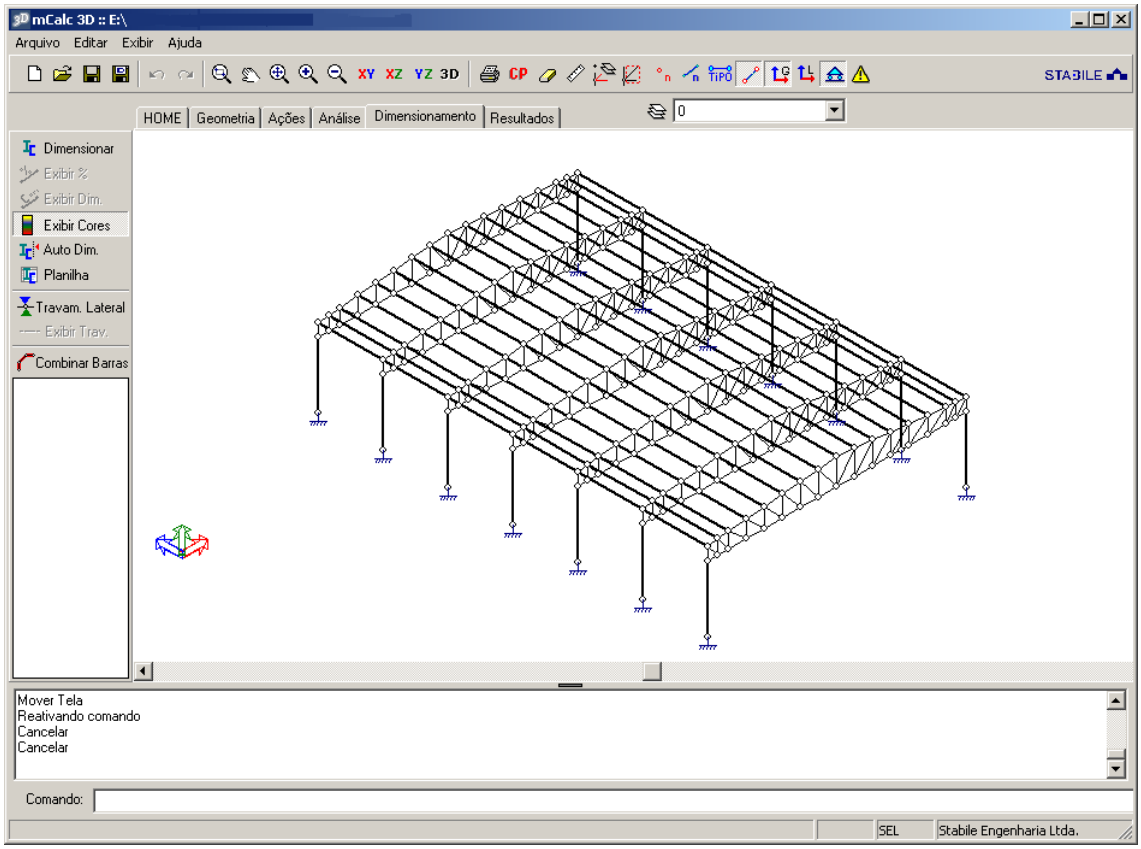

Stabile :: mCalc_Perfis
Arquivo Editar Ajuda
Perfil PS (I Soldado)
Dimensões
bw 250 mm
bF 170 mm
tF 9,5 mm
tw 4,8 mm
Iy, Iz, ... PS 250 x 170 x 9.5 x 4.8
Perfis Favoritos:
bw bf tf tw
250 170 9.5 4.8
300 170 8 4.8
500 240 16 6.4
500 200 16 6.4
500 240 16 8
Adiciona Remove Seleciona
Solicitações de Cálculo (kgf e cm)
Nc,Sd 0 VY,Sd 0 MY,Sd 1512,05 Cb 1,67
Nt,Sd 615,61 Vz,Sd -3,02 Mz,Sd 0 Cmy 0,6
Cmz 0,6
Comprimentos da Barra (cm)
KtLt 500 KzLz 500 λy 45,82 Travej. L/ Aço ASTM A36 Selecionar
KyLy 500 Lb 500 λy 118,07 fY 250 MPa fu 400 MPa
Resistências de Cálculo
Nc,Rd 37561,52 Sd/Rd = 0 VY,Rd 32727,27 Sd/Rd = 0
Nt,Rd 98609,09 Sd/Rd = 0,006 Vz,Rd 29290,23 Sd/Rd = 0
MY,Rd 1028274,32 Sd/Rd = 0 Mz,Rd 315012,64 Sd/Rd = 0
= 0,005
= 0,001
Calcular Relatório Configuração Aplicar Sair

CAPÍTULO 7. MÓDULO DIMENSIONAMENTO

7.1 INTRODUÇÃO

Somente após se ser analisado a estrutura pode-se acessar o módulo **Dimensionamento**.

Ao se entrar nesse módulo, será exibido o ambiente apresentado abaixo.



O módulo **Dimensionamento** possui alguns comandos exclusivos, que podem ser visualizados/acessados no menu vertical, à esquerda do ambiente de dimensionamento.

Existem três maneiras de se dimensionar uma estrutura:

• Por meio do comando **Dimensionar**;

• Por meio do comando **Auto Dim.**;

• Por meio da **Planilha** de dimensionamento;

7.2 Comando DIMENSIONAR

O comando, em realidade, procede uma verificação de barras (uma ou um conjunto), i.e. declaram-se o tipo de perfil a adotar e suas dimensões e o módulo **Dimensionamento** calculará as resistências de cálculo desse perfil e comparará esses resultados com as solicitações de cálculo, vindas da **Análise**.

Esse procedimento, embora seja o de verificação, é, por muitos conhecido como dimensionamento paramétrico, ou simplesmente **dimensionamento** de uma barra ou um conjunto de barras.

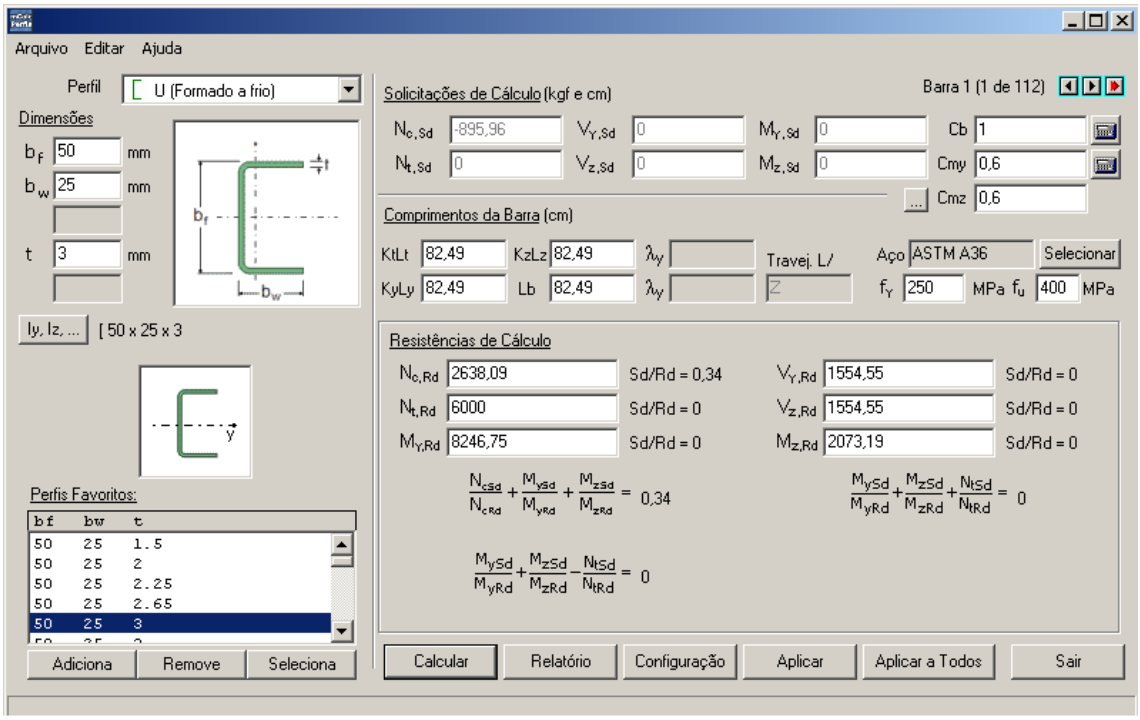
Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

com o botão esquerdo do *mouse*.

No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione barras para dimensionar**

Selecionam-se as barras a serem dimensionadas (as barras selecionadas ficarão desenhadas em vermelho). Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando a tecla <ENTER>.

Na tela surgirá a janela de diálogo do **Dimensionamento**. Nessa janela será escolhido o tipo de perfil e suas dimensões.

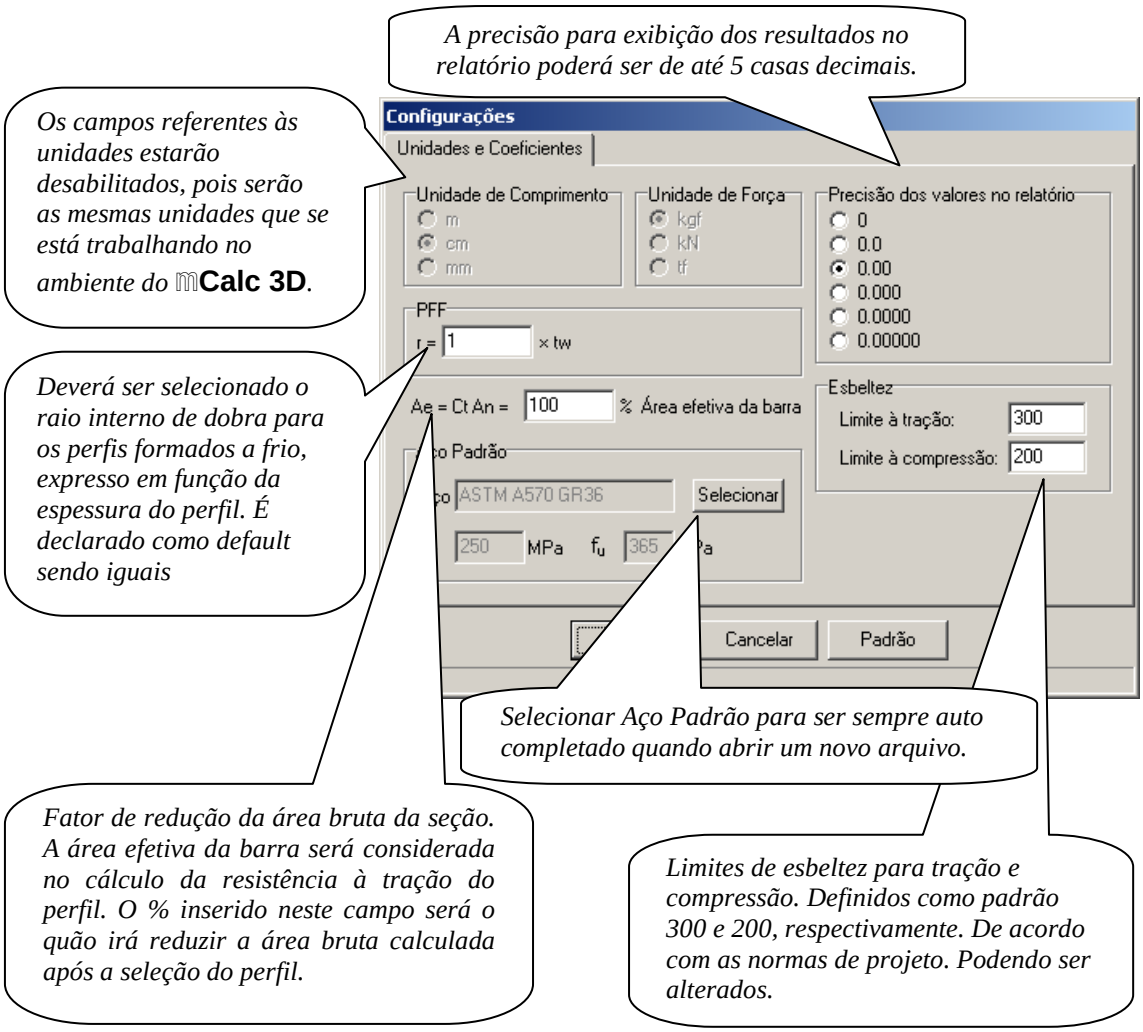

Arquivo Editar Ajuda
Perfil U (Formado a frio)
Dimensões
bf 50 mm
bw 25 mm
t 3 mm
Iy, Iz, ... [50 x 25 x 3
Perfis Favoritos:
bf bw t
50 25 1.5
50 25 2
50 25 2.25
50 25 2.65
50 25 3
Adiciona Remove Seleciona
Solicitações de Cálculo (kgf e cm)
Barra 1 (1 de 112)
Nc,Sd -895,96 VY,Sd 0 MY,Sd 0 Cb 1
Nt,Sd 0 Vz,Sd 0 Mz,Sd 0 Cmy 0,6
Cmz 0,6
Comprimentos da Barra (cm)
KtLt 82,49 KzLz 82,49 λy Travej. L/
KyLy 82,49 Lb 82,49 λy
Aço ASTM A36 Selecionar
fy 250 MPa fu 400 MPa
Resistências de Cálculo
Nc,Rd 2638,09 Sd/Rd = 0,34
Nt,Rd 6000 Sd/Rd = 0
MY,Rd 8246,75 Sd/Rd = 0
VY,Rd 1554,55 Sd/Rd = 0
Vz,Rd 1554,55 Sd/Rd = 0
Mz,Rd 2073,19 Sd/Rd = 0
Nc,Sd/Nc,Rd + MySd/MyRd + MzSd/MzRd = 0,34
MySd/MyRd + MzSd/MzRd + NtSd/NtRd = 0
MySd/MyRd + MzSd/MzRd − NtSd/NtRd = 0
Calcular Relatório Configuração Aplicar Aplicar a Todos Sair

Antes de iniciar o dimensionamento, recomenda-se que sejam setadas as configurações.

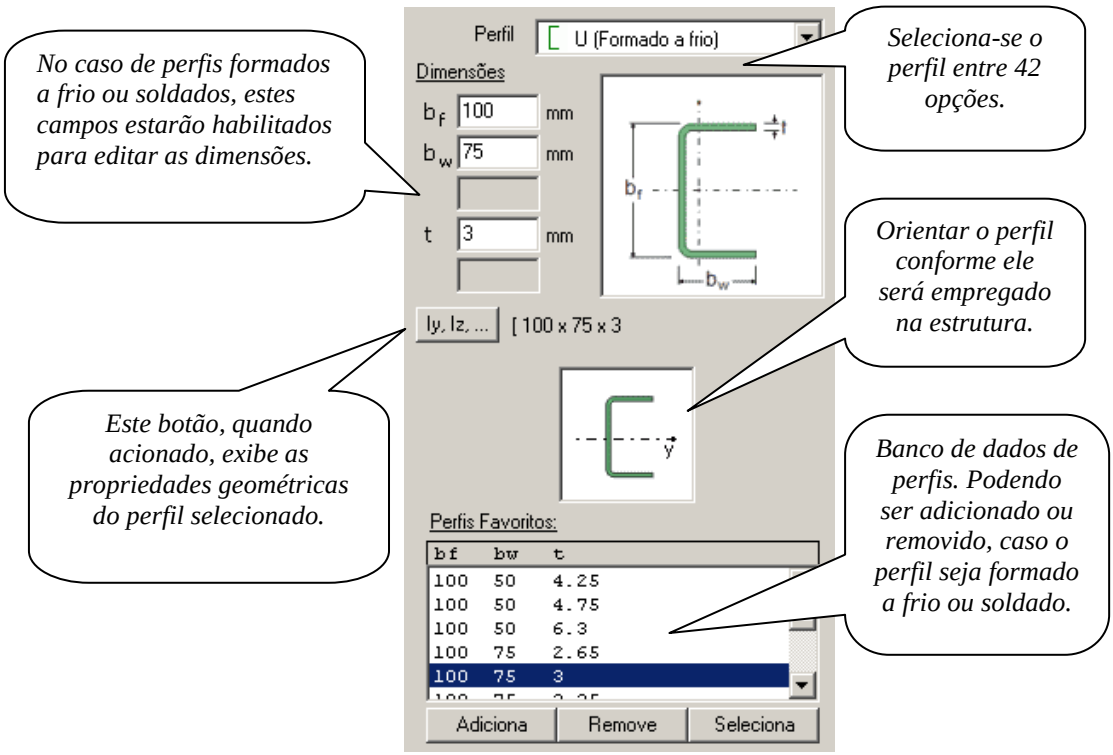
Para ajustar as configurações deve-se clicar no botão

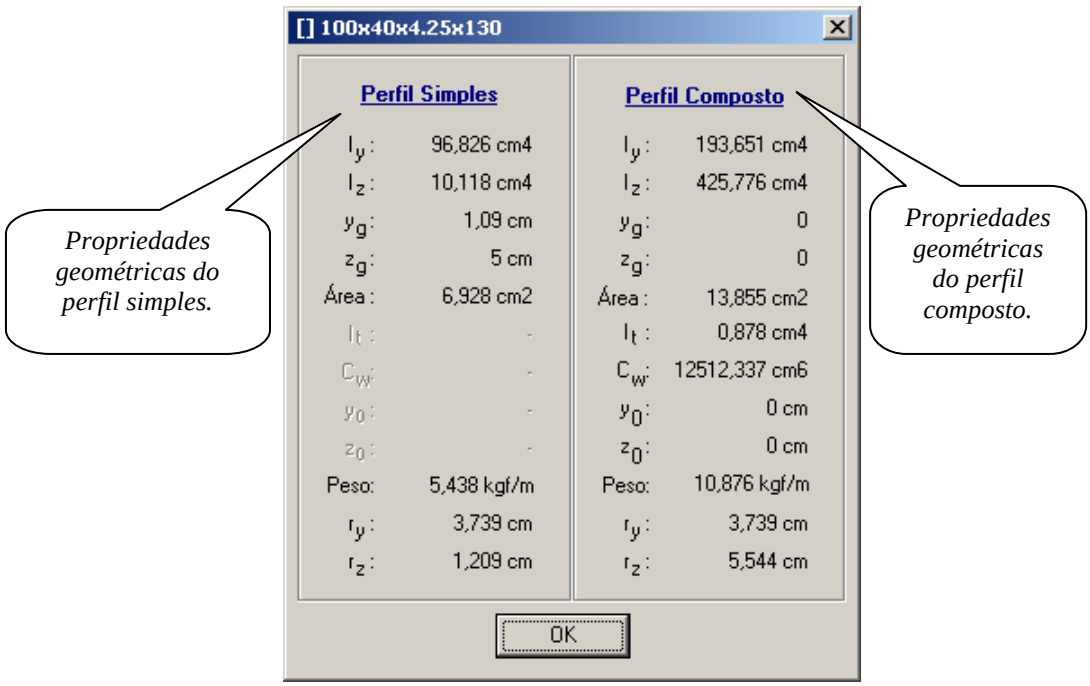
dessa forma serão padronizadas as principais características para os cálculos que serão executados para fazer as verificações nas peças.

Clicando neste botão abrirá uma janela com dois índices: Unidades e Coeficientes com o seguinte aspecto:

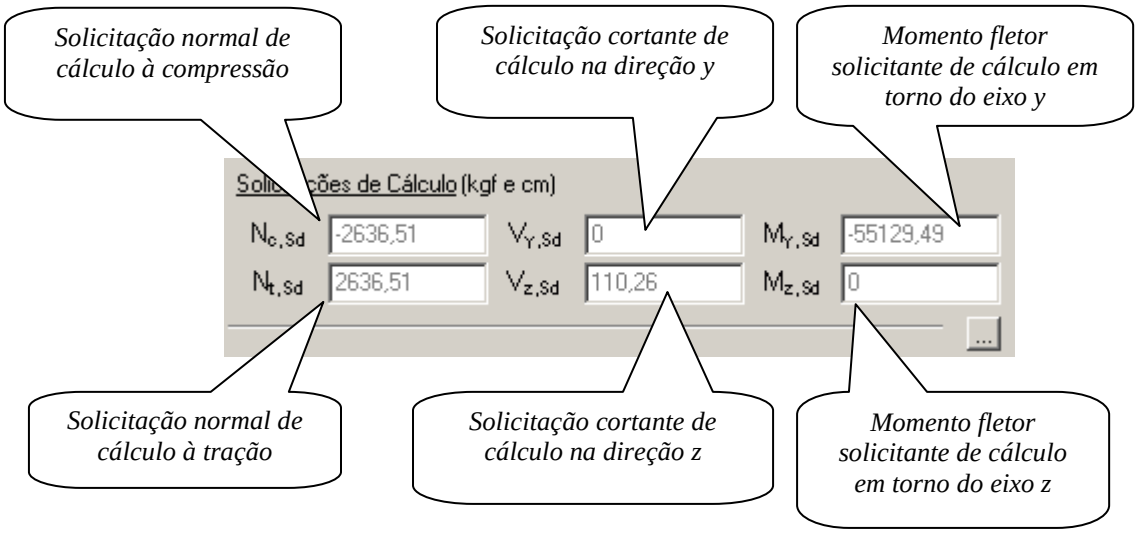

A precisão para exibição dos resultados no relatório poderá ser de até 5 casas decimais.
Os campos referentes às unidades estarão desabilitados, pois serão as mesmas unidades que se está trabalhando no ambiente do mCalc 3D.
Deverá ser selecionado o raio interno de dobra para os perfis formados a frio, expresso em função da espessura do perfil. É declarado como default sendo iguais
Configurações
Unidades e Coeficientes
Unidade de Comprimento
m
cm
mm
Unidade de Força
kgf
kN
tf
Precisão dos valores no relatório
0
0.0
0.00
0.000
0.0000
0.00000
PFF
r = 1 × tw
Ae = Ct An = 100 % Área efetiva da barra
Esbeltez
Limite à tração: 300
Limite à compressão: 200
o Padrão
ASTM A570 GR36
Selecionar
250 MPa fu 365
Cancelar
Padrão
Selecionar Aço Padrão para ser sempre auto completado quando abrir um novo arquivo.
Fator de redução da área bruta da seção. A área efetiva da barra será considerada no cálculo da resistência à tração do perfil. O % inserido neste campo será o quão irá reduzir a área bruta calculada após a seleção do perfil.
Limites de esbeltez para tração e compressão. Definidos como padrão 300 e 200, respectivamente. De acordo com as normas de projeto. Podendo ser alterados.

No ambiente da janela principal do programa existem alguns botões para execução e seleção de valores para posterior verificação.
O primeiro procedimento é a seleção do perfil.
Estão disponíveis perfis laminados, soldados e perfis formados a frio verificados segundo procedimentos de cálculo das normas Revisão da NBR 8800 e NBR 14762:2001.

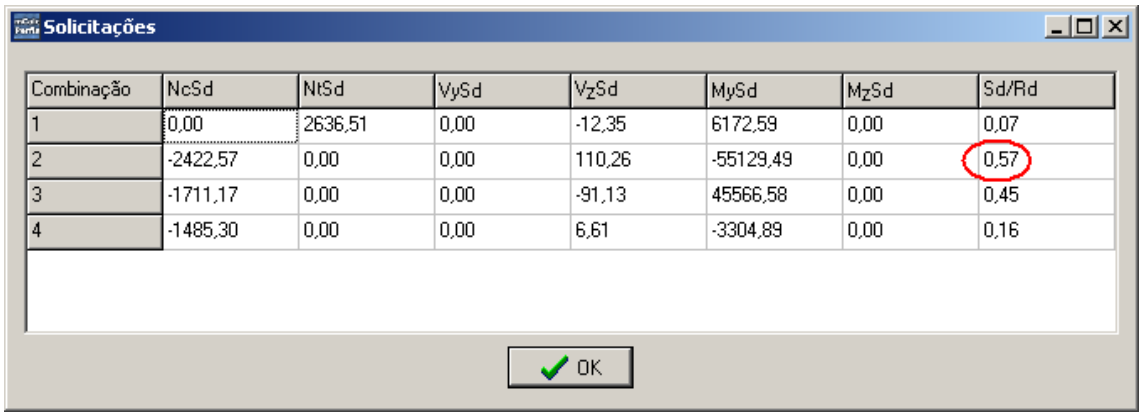

No caso de perfis formados a frio ou soldados, estes campos estarão habilitados para editar as dimensões.
Perfil
U (Formado a frio)
Seleciona-se o perfil entre 42 opções.
Dimensões
bf 100 mm
bw 75 mm
t 3 mm
Iy, Iz, ...
[100 x 75 x 3
Orientar o perfil conforme ele será empregado na estrutura.
Este botão, quando acionado, exibe as propriedades geométricas do perfil selecionado.
Perfis Favoritos:
bf bw t
100 50 4.25
100 50 4.75
100 50 6.3
100 75 2.65
100 75 3
Adiciona
Remove
Seleciona
Banco de dados de perfis. Podendo ser adicionado ou removido, caso o perfil seja formado a frio ou soldado.


[] 100x40x4.25x130
Perfil Simples
Iy: 96,826 cm4
Iz: 10,118 cm4
yg: 1,09 cm
zg: 5 cm
Área: 6,928 cm2
It: -
Cw: -
y0: -
z0: -
Peso: 5,438 kgf/m
ry: 3,739 cm
rz: 1,209 cm
Perfil Composto
Iy: 193,651 cm4
Iz: 425,776 cm4
yg: 0
zg: 0
Área: 13,855 cm2
It: 0,878 cm4
Cw: 12512,337 cm6
y0: 0 cm
z0: 0 cm
Peso: 10,876 kgf/m
ry: 3,739 cm
rz: 5,544 cm
OK
Propriedades geométricas do perfil simples.
Propriedades geométricas do perfil composto.

As solicitações de cálculo serão preenchidas pelo próprio **mCalc 3D** que as preencherá com os dados obtidos pela análise e não poderão ser editadas pelo usuário.

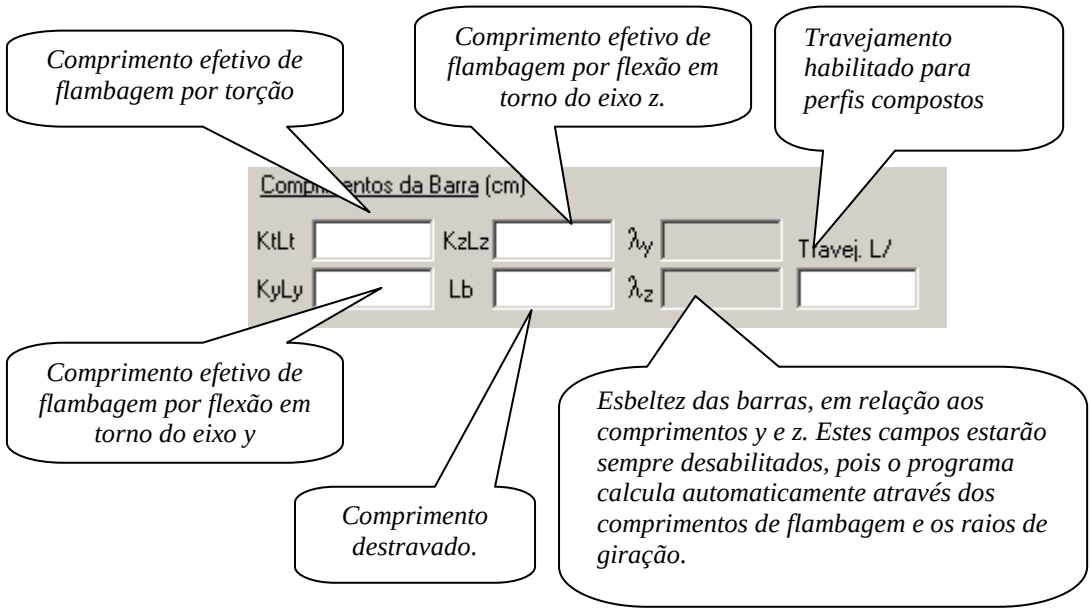

Solicitação normal de cálculo à compressão
Solicitação cortante de cálculo na direção y
Momento fletor solicitante de cálculo em torno do eixo y
Solicitações de Cálculo (kgf e cm)
Nc,Sd -2636,51
VY,Sd 0
MY,Sd -55129,49
Nt,Sd 2636,51
Vz,Sd 110,26
Mz,Sd 0
...
Solicitação normal de cálculo à tração
Solicitação cortante de cálculo na direção z
Momento fletor solicitante de cálculo em torno do eixo z

Os valores exibidos são os valores que resultaram no maior valor nas equações de interação. Os valores obtidos em cada combinação poderão ser visualizados clicando-se sob o botão ... Então abrirá uma janela, conforme figura abaixo:



Neste caso as solicitações que apareceram na janela de entrada de dados são os referentes à combinação 2, pois resultou no maior valor de equação de interação.

Os comprimentos também serão preenchidos pelo programa.


Comprimento efetivo de flambagem por torção
Comprimento efetivo de flambagem por flexão em torno do eixo z.
Travejamento habilitado para perfis compostos
Comprimentos da Barra (cm)
KtLt
KzLz
λy
Travej. L/
KyLy
Lb
λz
Comprimento efetivo de flambagem por flexão em torno do eixo y
Comprimento destravado.
Esbeltez das barras, em relação aos comprimentos y e z. Estes campos estarão sempre desabilitados, pois o programa calcula automaticamente através dos comprimentos de flambagem e os raios de giração.

SELEÇÃO DO TIPO DE AÇO: quando acionado o botão Selecionar abrirá uma janela com uma lista de aços a serem escolhidos:

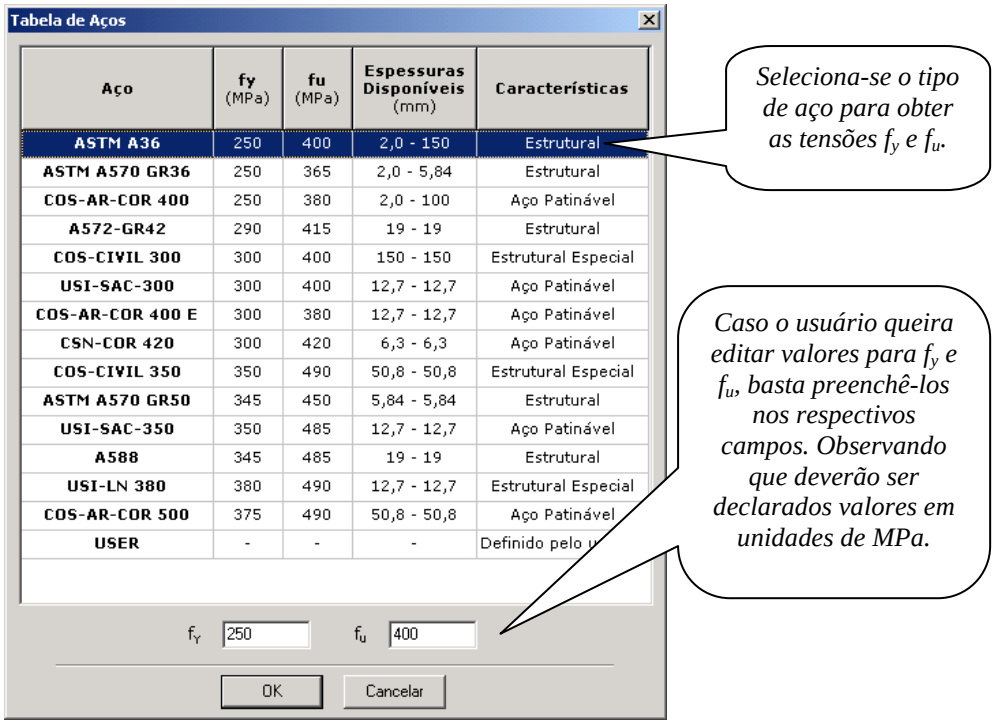
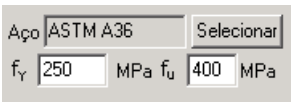


Tabela de Aços
Aço
fy (MPa)
fu (MPa)
Espessuras Disponíveis (mm)
Características
ASTM A36 250 400 2,0 - 150 Estrutural
ASTM A570 GR36 250 365 2,0 - 5,84 Estrutural
COS-AR-COR 400 250 380 2,0 - 100 Aço Patinável
A572-GR42 290 415 19 - 19 Estrutural
COS-CIVIL 300 300 400 150 - 150 Estrutural Especial
USI-SAC-300 300 400 12,7 - 12,7 Aço Patinável
COS-AR-COR 400 E 300 380 12,7 - 12,7 Aço Patinável
CSN-COR 420 300 420 6,3 - 6,3 Aço Patinável
COS-CIVIL 350 350 490 50,8 - 50,8 Estrutural Especial
ASTM A570 GR50 345 450 5,84 - 5,84 Estrutural
USI-SAC-350 350 485 12,7 - 12,7 Aço Patinável
A588 345 485 19 - 19 Estrutural
USI-LN 380 380 490 12,7 - 12,7 Estrutural Especial
COS-AR-COR 500 375 490 50,8 - 50,8 Aço Patinável
USER - - - Definido pelo u
fy 250 fu 400
OK
Cancelar
Seleciona-se o tipo de aço para obter as tensões fy e fu.
Caso o usuário queira editar valores para fy e fu, basta preenchê-los nos respectivos campos. Observando que deverão ser declarados valores em unidades de MPa.

Na janela do programa ficarão exibidos o aço que foi selecionado e as tensões de escoamento e ruptura do aço.



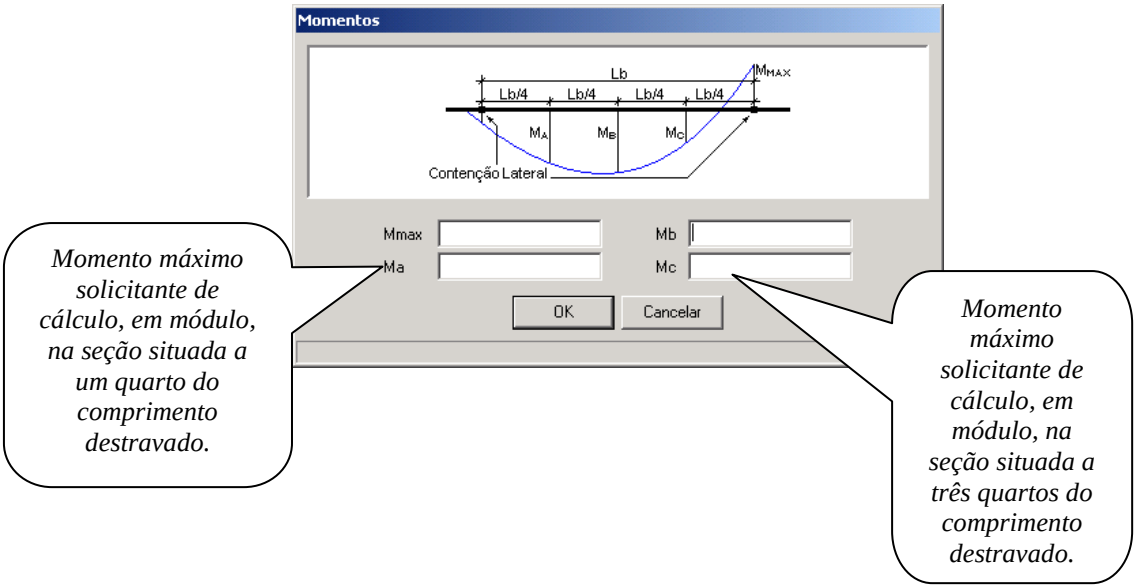
FATORES DE MODIFICAÇÃO DO MOMENTO: para determinar o momento fletor resistente de cálculo para o estado limite de flambagem lateral com torção (FLT). O **mCalc 3D** calcula estes fatores considerando o comprimento da barra e a distância entre travamentos. Mas se usuário quiser ele poderá editá-los.

Quando forem selecionados perfis laminados ou soldados, deverá ser determinado apenas o coeficiente C_b, editando o valor neste campo ou clicando neste botão

aparecerá uma janela para que sejam declarados os momentos solicitantes necessários para o cálculo do fator C_b:

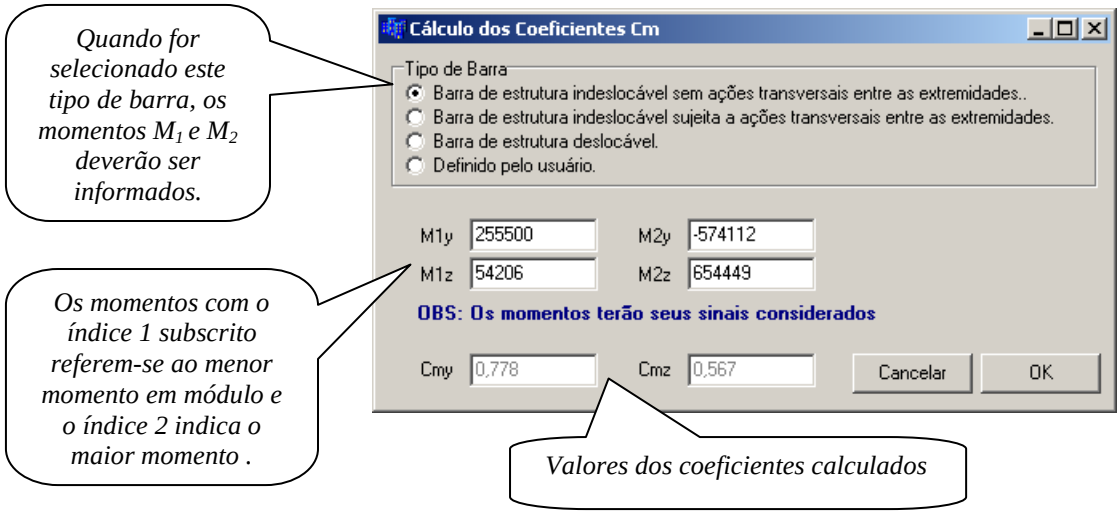
Momento máximo solicitante de cálculo, em módulo, no comprimento L_b.

Momento máximo solicitante de cálculo, em módulo, na seção central do comprimento destravado.

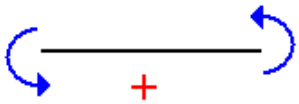


Para elementos de viga-coluna e perfis formados a frio, será necessário determinar, adicionalmente, os coeficientes C_{my} e C_{mz}, que são os coeficientes de equivalência de momento da flexão composta, em relação aos eixos y e z.

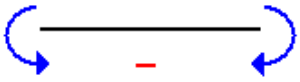
Clicando neste botão abrirá uma janela para que sejam determinados estes coeficientes:


Quando for selecionado este tipo de barra, os momentos M1 e M2 deverão ser informados.
Cálculo dos Coeficientes Cm
Tipo de Barra
Barra de estrutura indeslocável sem ações transversais entre as extremidades..
Barra de estrutura indeslocável sujeita a ações transversais entre as extremidades.
Barra de estrutura deslocável.
Definido pelo usuário.
M1y
255500
M2y
-574112
M1z
54206
M2z
654449
OBS: Os momentos terão seus sinais considerados
Cmy
0,778
Cmz
0,567
Cancelar
OK
Os momentos com o índice 1 subscrito referem-se ao menor momento em módulo e o índice 2 indica o maior momento .
Valores dos coeficientes calculados

A relação (M_1/M_2) será positiva quando os momentos provocarem curvatura reversa.

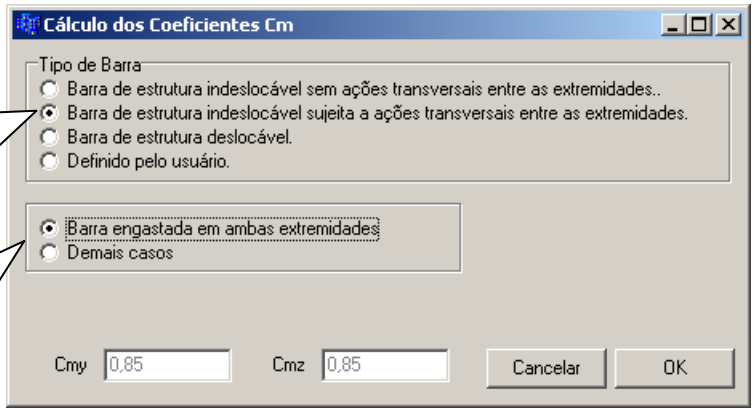


A relação (M_1/M_2) será negativa quando os momentos provocarem curvatura simples.

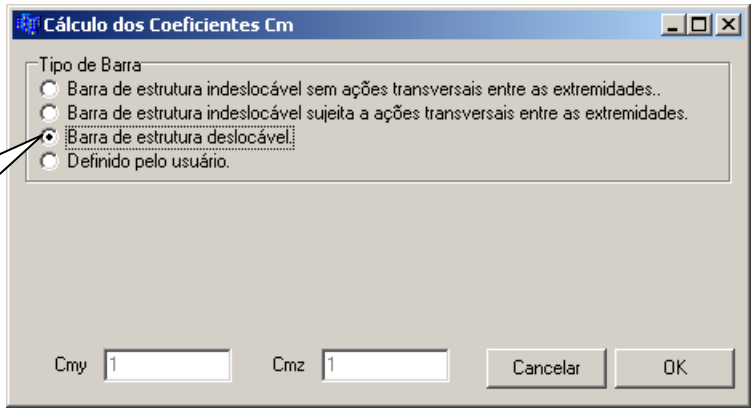


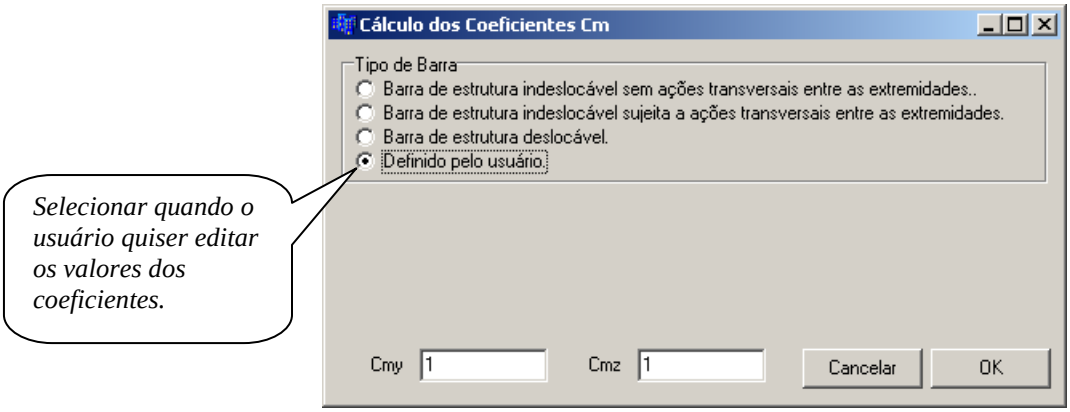
Quando for selecionado este tipo de barra, os valores dos coeficientes vão variar de acordo com a fixação das extremidades.

Para barras com as extremidades engastadas os coeficientes serão 0,85. Caso contrário serão 1,00.

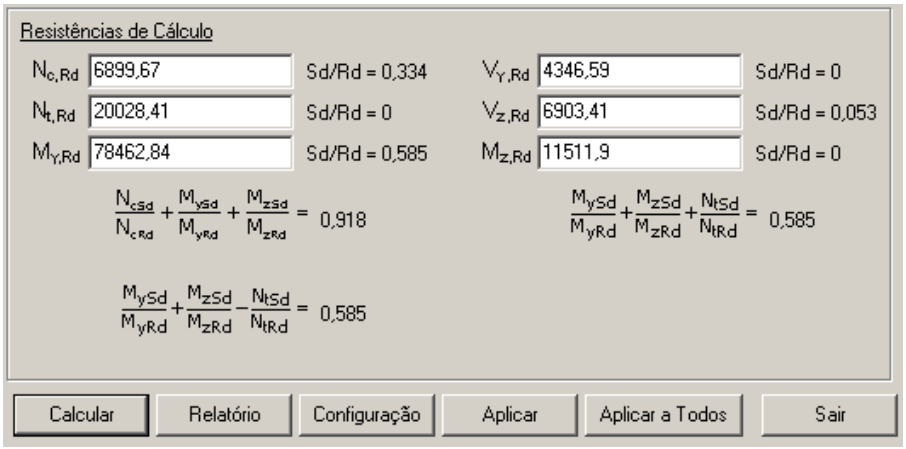


Barras de estrutura deslocável os coeficientes serão sempre 1,00





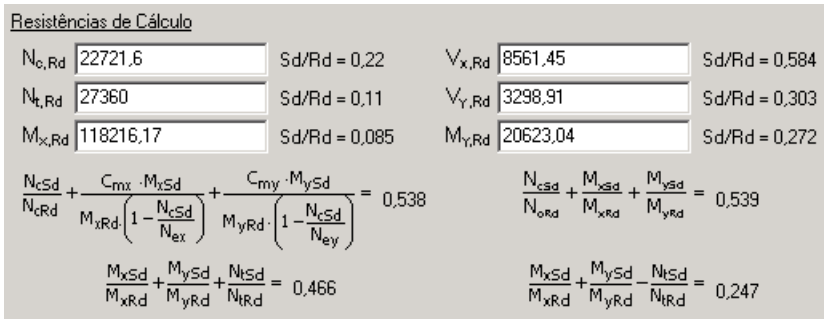
RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO: após serem fornecidos todos os dados da janela principal basta clicar em Calcular quando serão exibidas as respostas do programa:



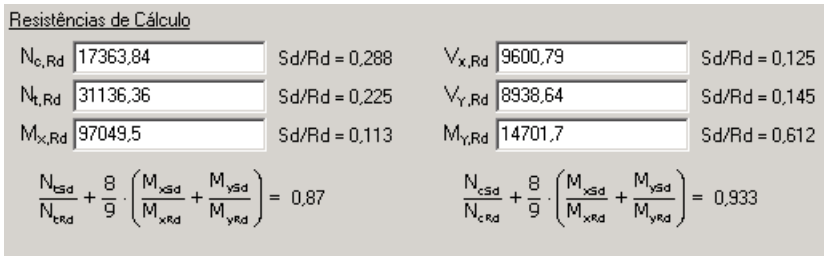
Onde:

$N_{c,Rd}$: Força normal resistente de cálculo à compressão
$N_{t,Rd}$: Força normal resistente de cálculo à tração
$M_{y,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo em torno do eixo y
$V_{y,Rd}$: Força cortante resistente de cálculo em y
$V_{z,Rd}$: Força cortante resistente de cálculo em z
$M_{z,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo em torno do eixo z

Na janela principal do programa, após o cálculo, também poderão ser visualizadas as equações de interação que vão ser diferentes dependendo do tipo de perfil selecionado.



Equações de interação para perfis formados a frio



Equações de interação para perfis laminados ou soldados

Relatório: o botão do relatório poderá ser acionado após os cálculos serem efetuados. Neste estarão discriminadas as equações principais utilizadas para a determinação de cada força ou momento resistente de cálculo.
Para salvar o relatório em padrão RTF basta clicar em ARQUIVO e SALVAR, indicando o local.

Pode-se aplicar esse perfil à primeira barra selecionada pressionando Aplicar ou aplicar o perfil a todas as barras selecionadas pressionando Aplicar a Todos.

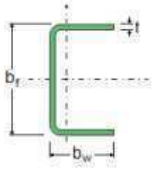
Esse comando ficará ativo até que se pressione a tecla **<esc>**.

Enquanto o comando estiver ativo ele continuará dimensionando as barras selecionadas.

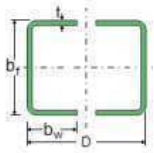
Perfis disponíveis:

A verificação dos perfis formados a frio será baseada nos procedimentos prescritos pela NBR 14762:2001.

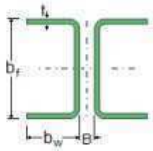
Estão disponíveis 19 perfis formados a frio:



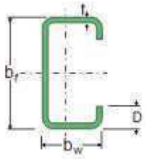
U formado a frio



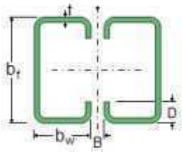
2 U (FF) opostos pelas mesas



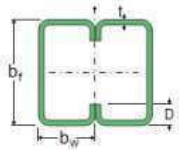
2 U(FF) opostos pelas almas



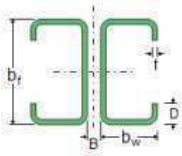
U formado a frio enrijecido



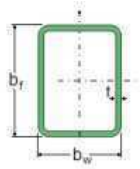
2 U (FF) enrijecidos



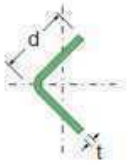
Caixa (FF)



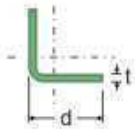
I (FF) enrijecido



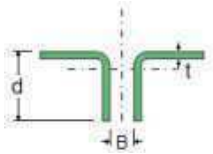
Box (FF)



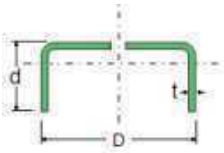
Cantoneira (FF)



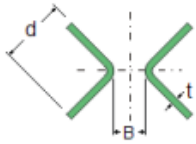
Cantoneira (FF)



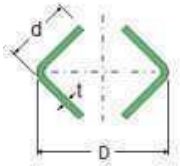
2 Cantoneiras (FF) opostas pelas abas



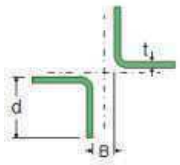
2 Cantoneiras (FF) opostas pelas mesas



2 Cantoneiras (FF) opostas pelos vértices

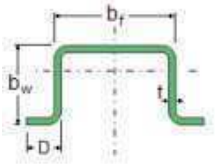


2 Cantoneiras (FF) em caixa

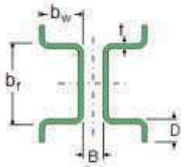


2 Cantoneiras (FF) em cruz

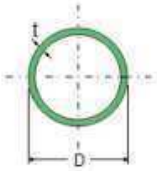
2 Cantoneiras (FF) em Z



Cartola (FF)

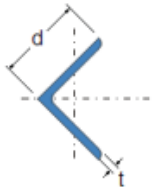


I cartola (FF)

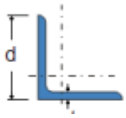


Tubo circular (FF)

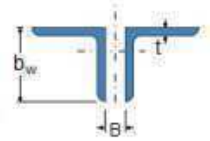
O dimensionamento dos perfis vai ser dado de acordo com a norma a qual ele se adequou. No caso de selecionar perfis laminados ou soldados, será baseado nos procedimentos de cálculo da revisão da NBR 8800.
Estão disponíveis 23 perfis entre laminados e soldados:



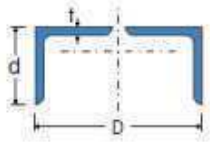
Cantoneira laminada



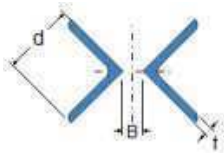
Cantoneira laminada



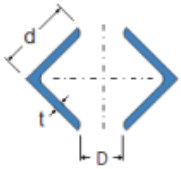
2 (2LLM) Cantoneiras laminadas opostas pelas abas



2 (LLLM) Cantoneiras laminadas opostas pelas mesas

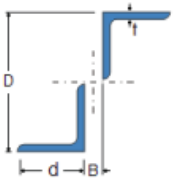


2 (VVLM) Cantoneiras laminadas opostas pelos vértices



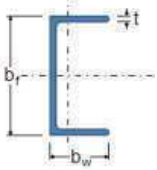
2 (LVLM) Cantoneiras laminadas em caixa

2 (LXLM) Cantoneiras laminadas em cruz

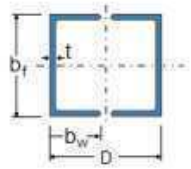


2 (LXLM) Cantoneiras laminadas em Z

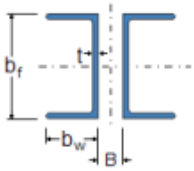
U laminado (ULAM)



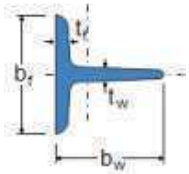
U laminado de abas paralelas (UAP)



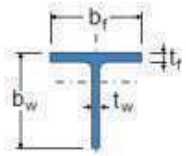
2U laminado de abas paralelas opostos pelas mesas



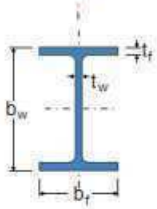
2 U laminado de abas paralelas opostos pelas almas



Tee laminado (TEE)



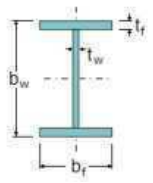
Tee laminado-metade do açominas (TW)



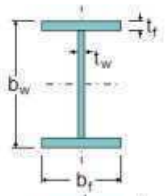
I laminado (ILAM)

Redondo (RED)

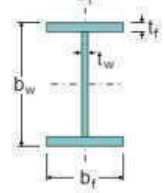
I açominas (W)



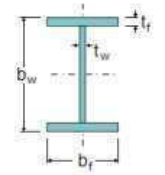
I soldado (PS)



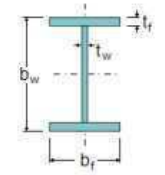
I coluna soldada (CS)



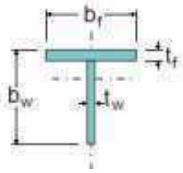
I viga soldada (VS)



I viga eletro-soldada (VSE)



I coluna-viga soldada (CVS)



T soldado (TS)

7.3 Comando EXIBIR %

Ativa-se o comando clicando no botão

com o botão esquerdo do mouse.
Este comando exibe a performance dos perfis em termos de %.

7.4 Comando EXIBIR DIM.

Ativa-se o comando clicando no botão

com o botão esquerdo do mouse.

Este comando exibe os perfis adotados nas barras que já foram dimensionadas.

7.5 Comando EXIBIR CORES

Ativa-se o comando clicando no botão

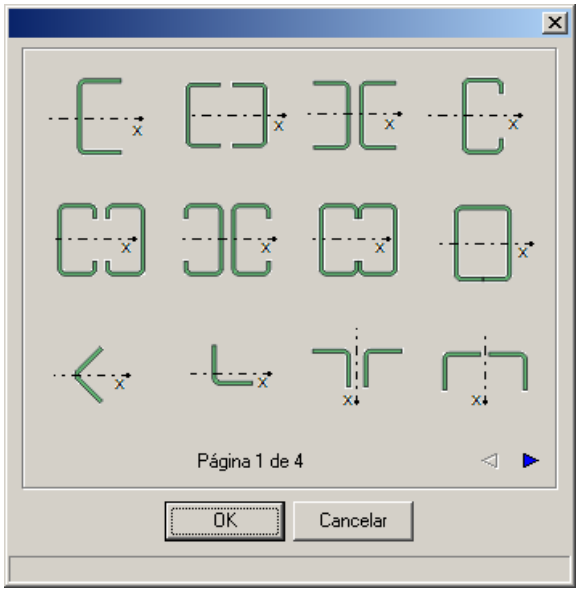
com o botão esquerdo do mouse.
Este comando exibe a performance dos perfis conforme escala de cores configuradas pelo usuário.

7.6 Comando AUTO DIM.

Ativa-se o comando de *Autodimensionar* clicando no botão

com o botão esquerdo do mouse.
No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Autodimensionar barras.**

Selecionam-se as barras a serem autodimensionadas com o botão esquerdo do mouse. Estas ficarão desenhadas em vermelho. Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>. Então abrirá uma janela com todos os perfis disponíveis:



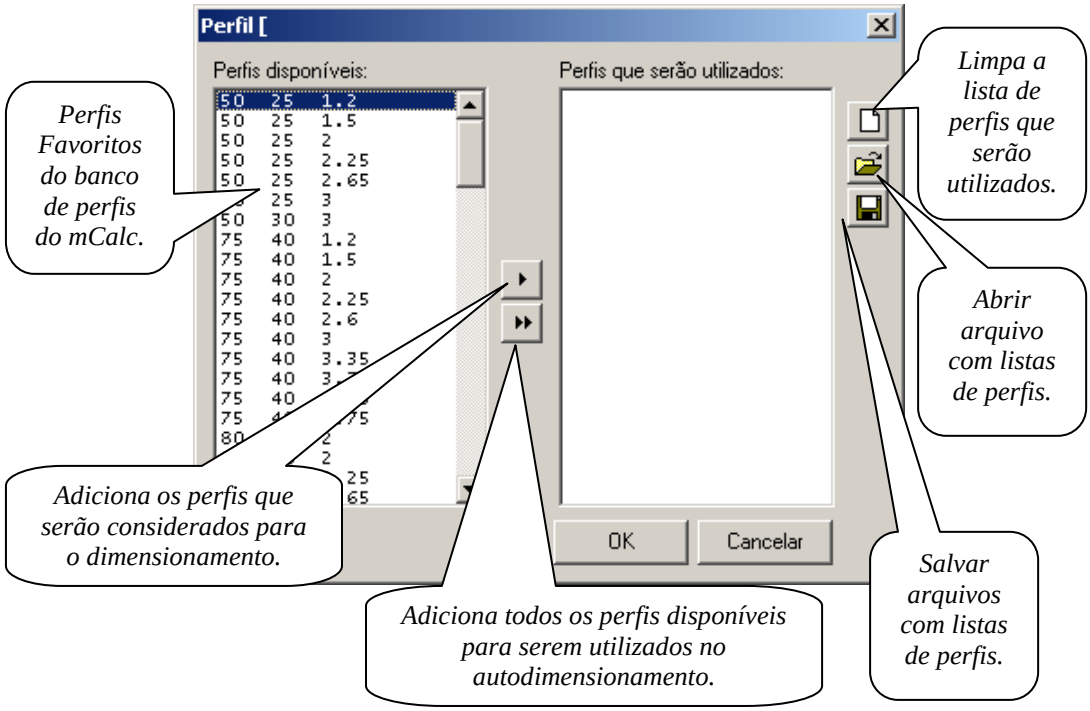
Deverá ser escolhido o tipo de perfil clicando-se sob ele com o botão esquerdo do mouse e posteriormente clicando em OK.

Então surgirá outra janela para que seja escolhida a orientação do perfil na

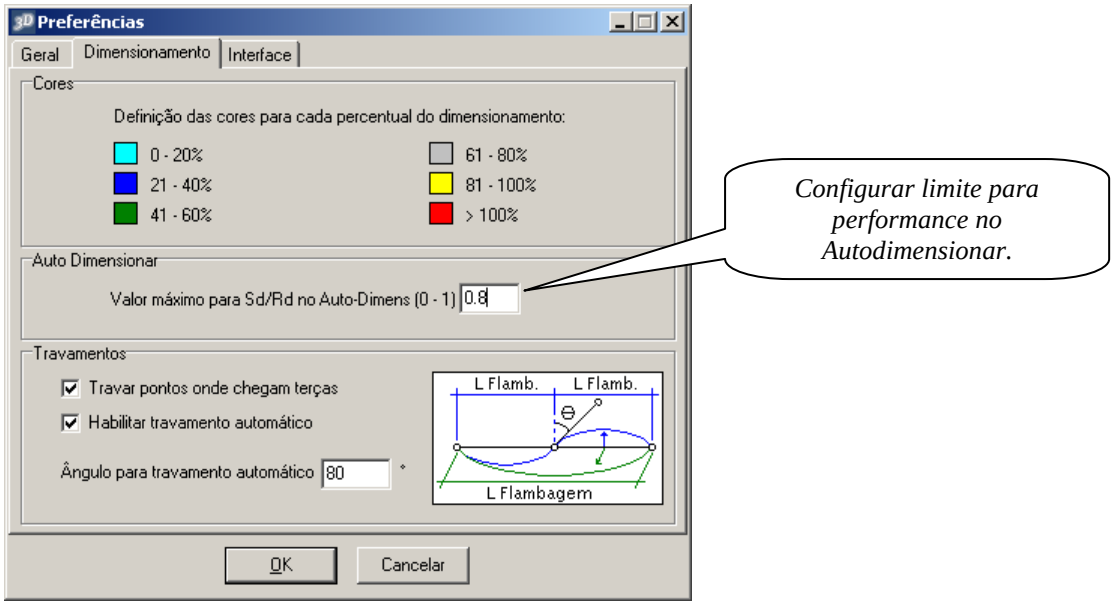
estrutura:

mCalc
Escolha a orientação do perfil:
OK
Cancelar
Rotaciona o perfil em 90º no sentido anti-horário.
Rotaciona o perfil em 90º no sentido horário.

Escolhida a orientação do perfil, clica-se em OK, e então surgirá a janela com as dimensões dos perfis existentes no banco de perfil do **mCalc 3D**.


Perfil [
Perfis disponíveis:
Perfis que serão utilizados:
OK
Cancelar
Perfis Favoritos do banco de perfis do mCalc.
Limpa a lista de perfis que serão utilizados.
Abrir arquivo com listas de perfis.
Adiciona os perfis que serão considerados para o dimensionamento.
Adiciona todos os perfis disponíveis para serem utilizados no autodimensionamento.
Salvar arquivos com listas de perfis.

Após selecionados os perfis que serão utilizados, o **mCalc 3D** fará de forma otimizada o dimensionamento entre os perfis listados.
Observa-se ainda que o usuário deverá informar nas configurações qual é o máximo valor da performance que deseja ser atingida pelo *Autodimensionamento*. Deve-se ir ao menu Exibir, *Preferências...*, *Dimensionamento*:

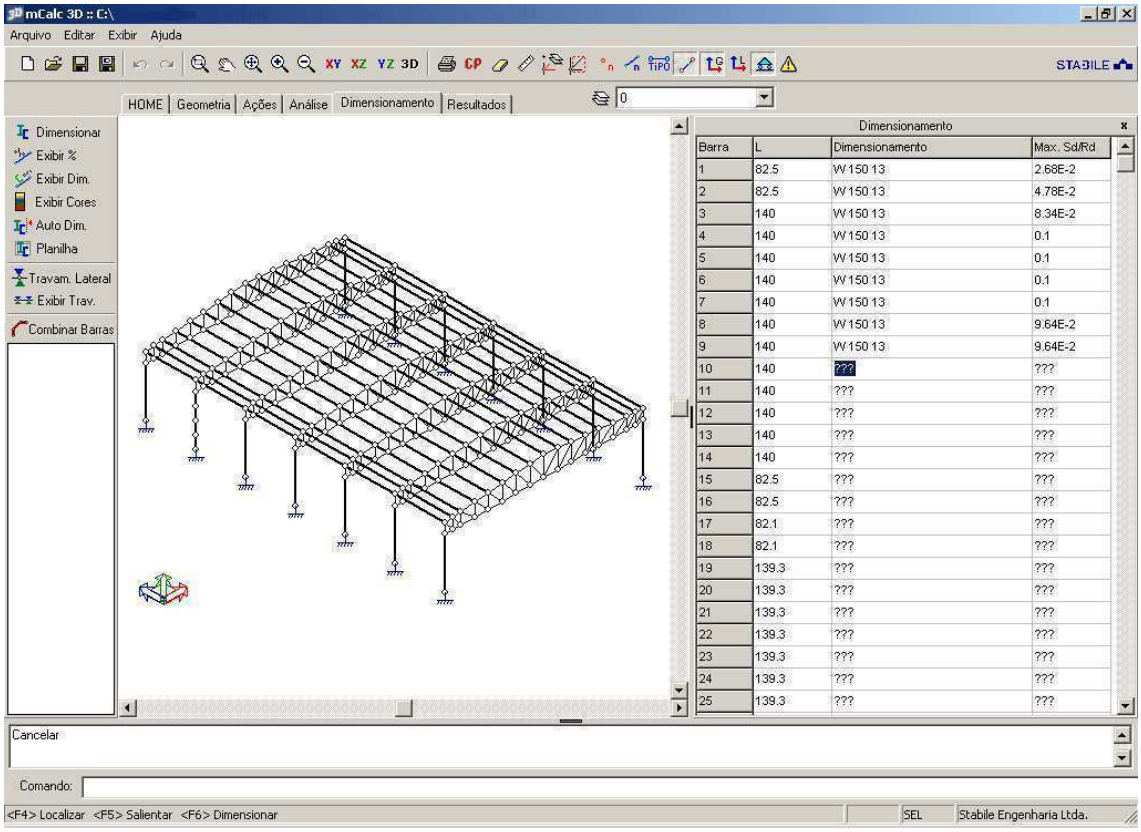


7.7 Comando PLANILHA

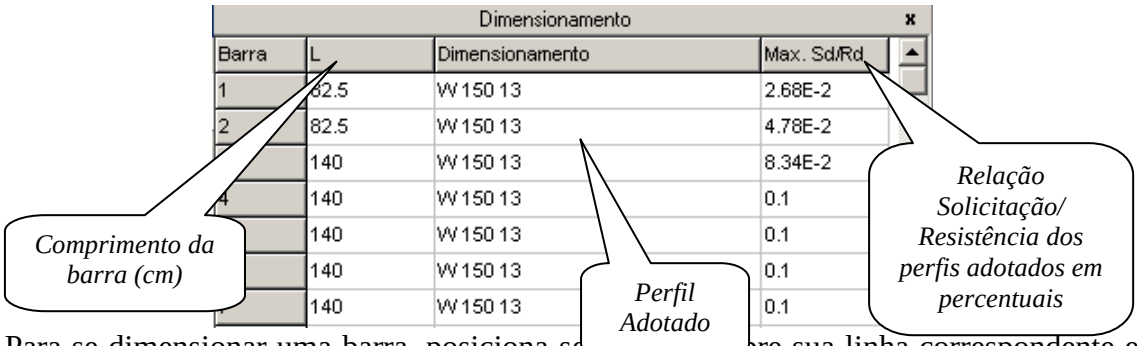
Ativando-se esse comando o módulo **Dimensionamento** apresenta a outra forma de se dimensionar barras: por meio de uma planilha.

Ativa-se a planilha pressionando-se o botão

.



As barras da estrutura serão listadas na planilha de dimensionamento, apresentando:


Dimensionamento
Barra L Dimensionamento Max. Sd/Rd
1 82.5 W 150 13 2.68E-2
2 82.5 W 150 13 4.78E-2
140 W 150 13 8.34E-2
4 140 W 150 13 0.1
140 W 150 13 0.1
140 W 150 13 0.1
140 W 150 13 0.1
Comprimento da barra (cm)
Perfil Adotado
Relação Solicitação/ Resistência dos perfis adotados em percentuais

Para se dimensionar uma barra, posiciona-se sobre sua linha correspondente e pressiona-se **F6**: a janela de dimensionamento será aberta e se procede como descrito no item 6.*2 Comando Dimensionar*.

O módulo **Dimensionamento** oferece alguns recursos quando se dimensiona por intermédio da planilha. Pressionando:

F3: o dimensionamento da linha superior (da barra anterior) será testado e copiado.

F4: a barra *atual* será localizada no centro da tela com cor diferenciada
F5: a barra em que se está com o *foco*, se selecionada: será destacada com uma cor diferente no desenho geral da estrutura.

7.8 Comando COPIAR PERFIS

Será utilizado para copiar o dimensionamento de uma barra para outra(s).

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão

com o botão esquerdo do mouse.
No *prompt* do programa será exibida uma ordem: **Selecione uma barra para copiar as propriedades.**

Seleciona-se a barra a ser copiado o perfil com o botão esquerdo do mouse. A barra que for selecionada ficará desenhada em vermelho.

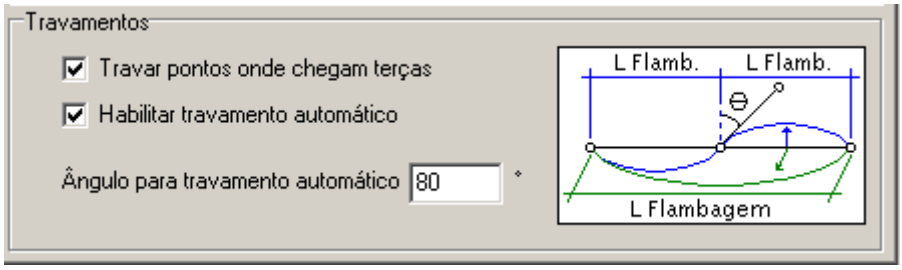
Confirma-se a seleção com o botão direito ou pressionando-se a tecla <ENTER>.

No *prompt* do programa surgirá um pedido de informação: **Escolha barras aonde deseja colar as propriedades**
Com o botão esquerdo do mouse clica-se na barra que se queira colar as propriedades.
Esse comando ficará ativo até que se pressione o botão direito do mouse ou a tecla **<esc>**.
Enquanto o comando estiver ativo ele continuará copiando as propriedades da barra selecionada para outra que se indicar.

7.9 Comando TRAVAMENTO LATERAL

Ao se dimensionar uma estrutura é necessário informar ao módulo **Dimensionamento** onde se localizam os travamentos da estrutura, i.e. os pontos de restrição à flambagem lateral ou fora do plano dessa estrutura. Isso porque é sabido: os procedimentos de verificação à compressão e à flexão consideram os travamentos laterais, ou, mais propriamente, à distância entre eles. Por isso esse comando foi criado.

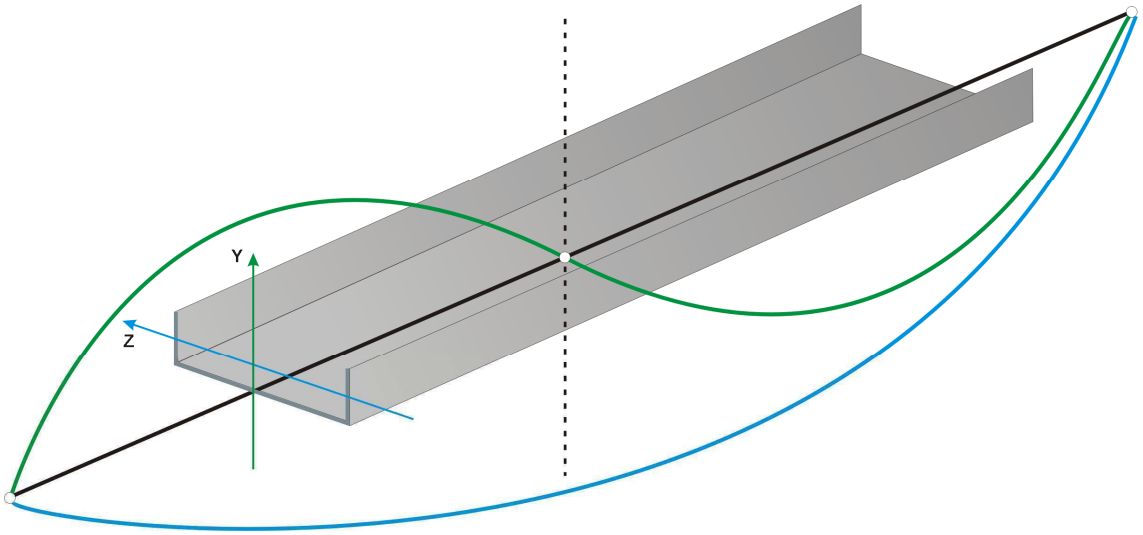
O **mCalc 3D** fará o travamento automático das barras. Os critérios para isto estão no menu *Exibir > Preferências > Dimensionamento.*



Por *default* estarão sempre habilitadas as opções do travamento automático.

A primeira opção "*Travar pontos onde chegam terças*" quando estiver habilitada vai considerar as terças, geradas através da geração automática, como pontos de travamento em relação ao eixo y global da estrutura.

A opção "*Habilitar travamento automático*" vai considerar o ângulo para travamento das barras da estrutura. Este ângulo refere-se à chegada das barras nos nós da estrutura. São verificadas as barras em duas direções, nos eixos y e z do perfil.

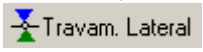


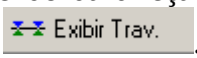
No caso da estrutura da figura acima, o comprimento de flambagem em relação ao eixo z do perfil será equivalente a 2L, enquanto que para o eixo y do perfil será L.

Em relação ao ângulo para travamento automático, este deverá ser configurado de acordo com os critérios do usuário.

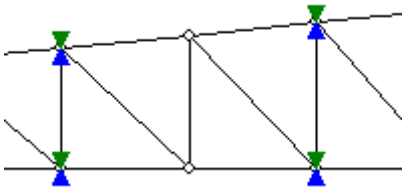
Este ângulo servirá para testar se as barras que chegam em determinado nó funcionam

como travamento.

Caso o usuário queira declarar os pontos de travamento segundo seus critérios, então deverá desabilitar a opção de travamento automático e clicar no botão 

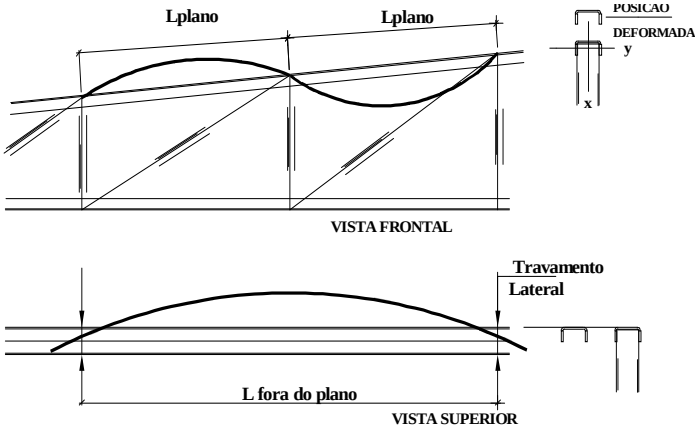
. O programa aguardará que se declarem quais nós estão travados lateralmente. Bastará selecionarem-se os nós travados, clicando-se sobre eles, ou selecionando-se por retângulo e confirmando-se com o botão direito do *mouse*. O programa colocará triângulos de cor verde e, ou azul dependendo da direção do travamento. Para exibir estes triângulos deverá ser clicado o botão 

. Os triângulos azuis indicam travamento no eixo y do perfil e os verdes no eixo z.



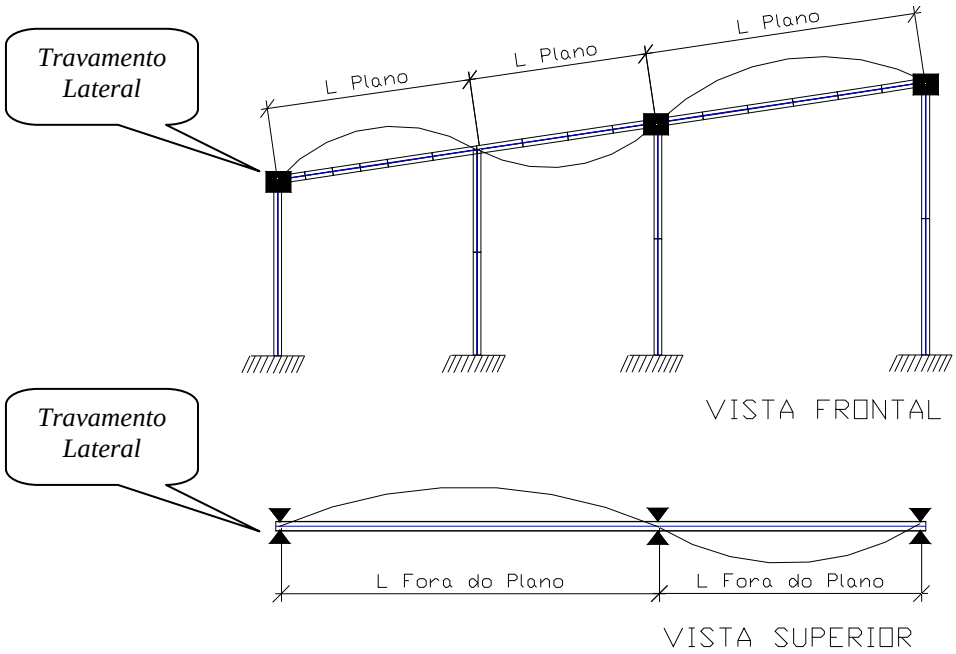
Em banzos de treliças os comprimentos de flambagem das barras são:

• No plano da treliça: a distância entre dois nós, i.e. o comprimento da barra,
• Fora do plano da treliça: a distância entre dois nós travados lateralmente.



Em elementos de pórticos os comprimentos de flambagem das barras são:
• No plano do pórtico: a distância entre dois nós que impedem o deslocamento da barra no plano do pórtico, i.e. a distância entre a interseção de duas barras que cruzam ou chegam nas barras que se está dimensionando.

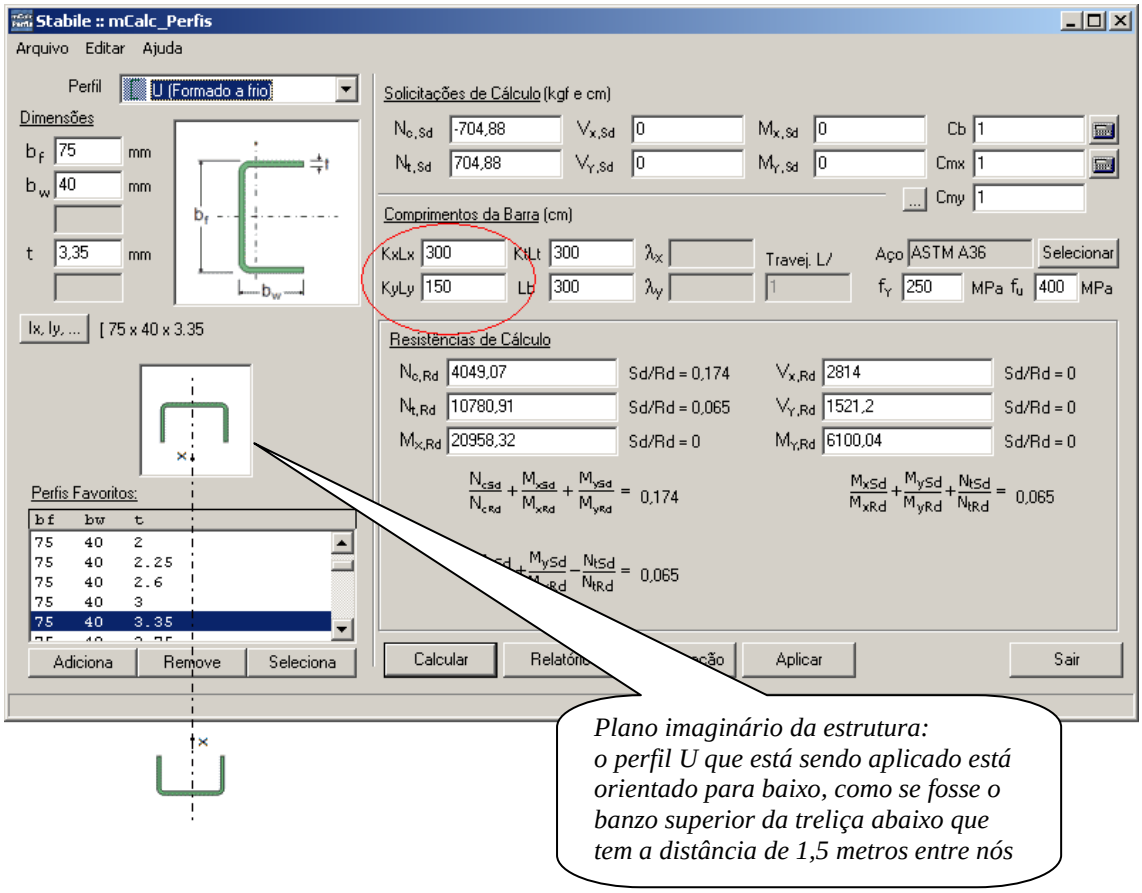
• Fora do plano do pórtico: a distância entre dois nós travados lateralmente.



A partir desses conceitos e a partir do travamento lateral declarado para cada estrutura, o programa vai "*conhecer*" os comprimentos de flambagem *no plano* e *fora do plano* das barras.

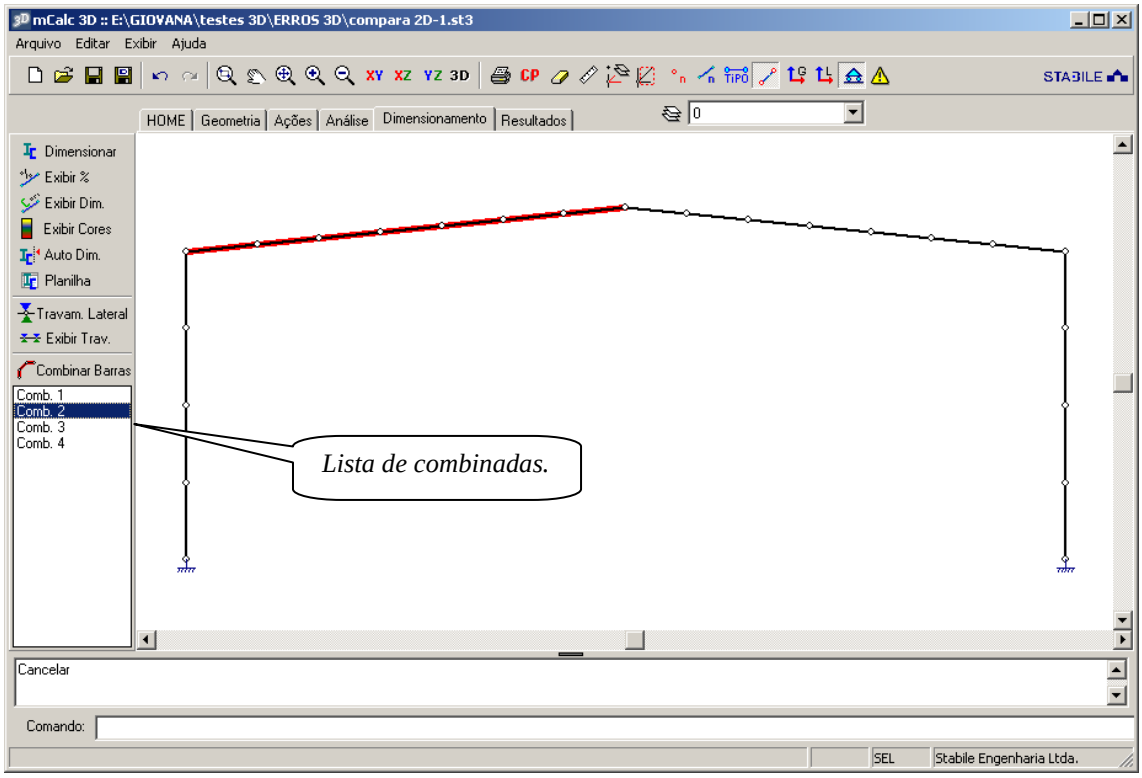
A importante interpretação de que a flambagem em torno do eixo ***Y*** ou ***Z*** será a flambagem *no plano* ou *fora do plano* será feita automaticamente com base na declaração dos travamentos e da orientação (posição) que o usuário escolheu para aplicar o perfil na estrutura.

Essa orientação deverá ser feita clicando-se no *slide* menor da janela do **Dimensionamento** e o perfil será aplicado na posição escolhida, imaginado que o plano da estrutura (treliça, pórtico ou viga) seja o plano vertical.



7.10 Comando COMBINAR BARRAS

Para o caso de pórticos tem-se o comando **Combinar Barras** neste irá se declarar se existem barras que estão combinadas com outras, e por isso deverão ser consideradas como se fossem uma só barra para efeito de avaliação de comprimento de flambagem.



Para se fazer essa declaração basta clicar-se sobre o botão Combinar Barras e selecionarem-se as barras a serem combinadas.
Podem-se criar ilimitadas combinações de barras. Para apagar uma combinação, seleciona-se a Combinação e pressiona-se a tecla *Delete*.
IMPORTANTE:
Para elementos de pórticos, caso não se declare Combinação de Barras o programa interpretará que:

- o comprimento de flambagem *fora do plano* será a distância entre os pontos de travamento lateral e no plano;
- o comprimento de flambagem *no plano* será o comprimento de cada barra.

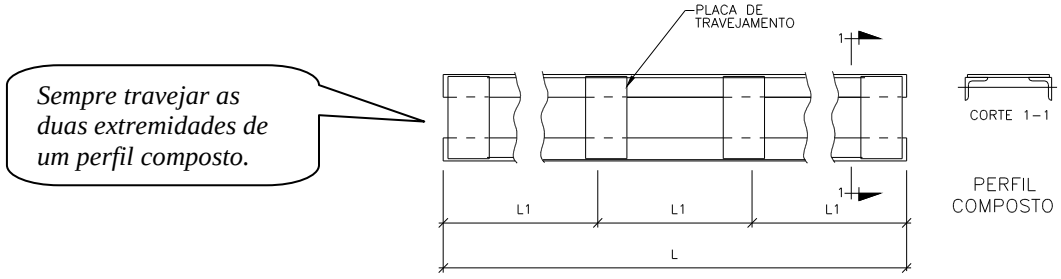
Caso não, os comprimentos de flambagem *no plano* e *fora do plano* serão considerados os comprimentos das barras.

7.11 Perfis Compostos

Fazem-se, nesse momento, alguns comentários sobre os perfis compostos. Essa categoria de perfis merece uma especial atenção, já que são perfis eficientes e muito

utilizados, mas quando usados de maneira inadequada podem trazer problemas.

Dois ou mais perfis, unidos entre si por meio de uma ligação não contínua - solda ou travejamento em quadro ou em treliça - que trabalham como se fossem um só perfil são conhecidos por *Perfis Compostos*.



Para a determinação da resistência de cálculo dos perfis compostos devem-se verificar:

a) Flambagem do perfil isolado.

O perfil isolado - um dos perfis que formam o perfil composto - flamba, em torno do seu eixo de menor inércia, tendo como comprimento de flambagem a distância entre elementos de travejamento "L_1".

No caso do perfil isolado, deve-se considerar, também, a flambagem local da maior parede não enrijecida. A resistência final de cálculo será a menor: entre a flambagem global do perfil isolado e a flambagem local de uma de suas paredes.

b) Flambagem global do perfil composto

O perfil composto criado terá 2 eixos principais de inércia. Um dos eixos será paralelo ao(s) plano(s) de travejamento e o outro eixo perpendicular.

É costume comporem-se os perfis de tal maneira que se travejem planos paralelos ao eixo de maior inércia. Assim será obtido um perfil com inércia bem aumentada em torno do eixo paralelo ao de menor inércia dos perfis simples.

A inércia desse perfil, em torno do eixo paralelo aos planos de travejamento, será determinada somando as inércias de cada perfil isoladamente. É claro que é caso de simples soma se o eixo principal da composição coincidir com o eixo principal do perfil isolado; caso contrário se deverá obter a inércia da composição pelo Teorema de *Steiner*.

A inércia do perfil composto em torno do outro eixo principal, perpendicular ao plano

de travejamento, terá um valor intermediário entre a inércia que se calcula pelo Teorema de *Steiner* e a que se avalia considerando os dois perfis isolados.

Os elementos de travejamento, por serem descontínuos, não oferecem uma união tão eficiente como uma ligação contínua entre os perfis, e essa deficiência deve ser considerada na avaliação dessa inércia ou esbeltez como orientam as normas.

Adota-se o procedimento da norma NB14/68 (ABNT, 1968) que é uma adaptação da norma DIN4114 (Deutsche Industrie Normen, 1952), considerando-se somente o caso de travejamento em quadro.

Supondo-se que o eixo perpendicular ao plano de travejamento seja o eixo *Y* a esbeltez final será uma esbeltez ideal λ_{y_i}.

$$\lambda_{y_i} = \sqrt{\lambda_y{}^2 + \frac{m}{2}\lambda_1{}^2}$$

onde:

$\lambda_y = \frac{K_y L_y}{r_y}$ esbeltez do perfil composto em torno do eixo perpendicular ao plano de travejamento, considerando-se a inércia *cheia* em torno desse eixo;

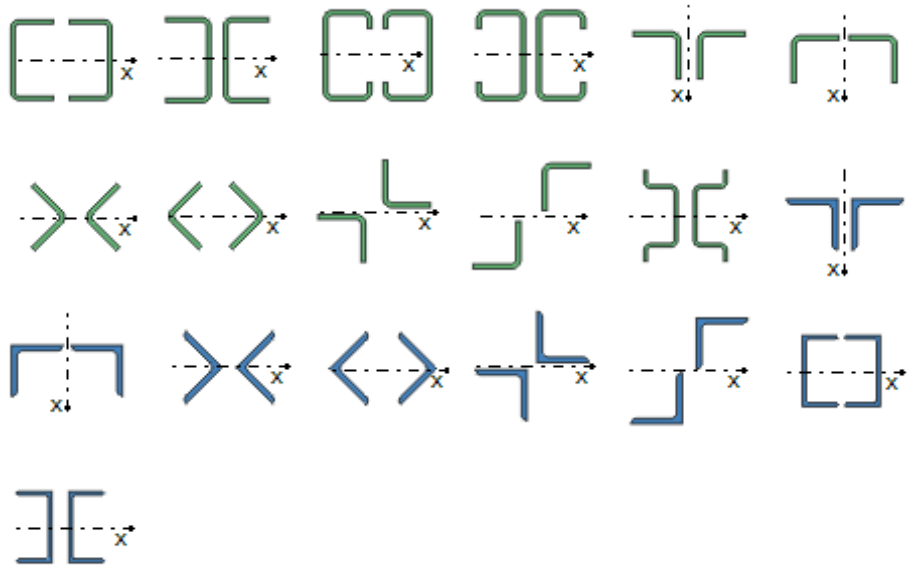
$\lambda_1 = \frac{K_1 L_1}{r_1}$ esbeltez do perfil simples em torno do eixo de menor inércia (eixo *1*) sendo L_1 a distância entre placas de travejamento e

m = número de perfis simples que formam o perfil composto.

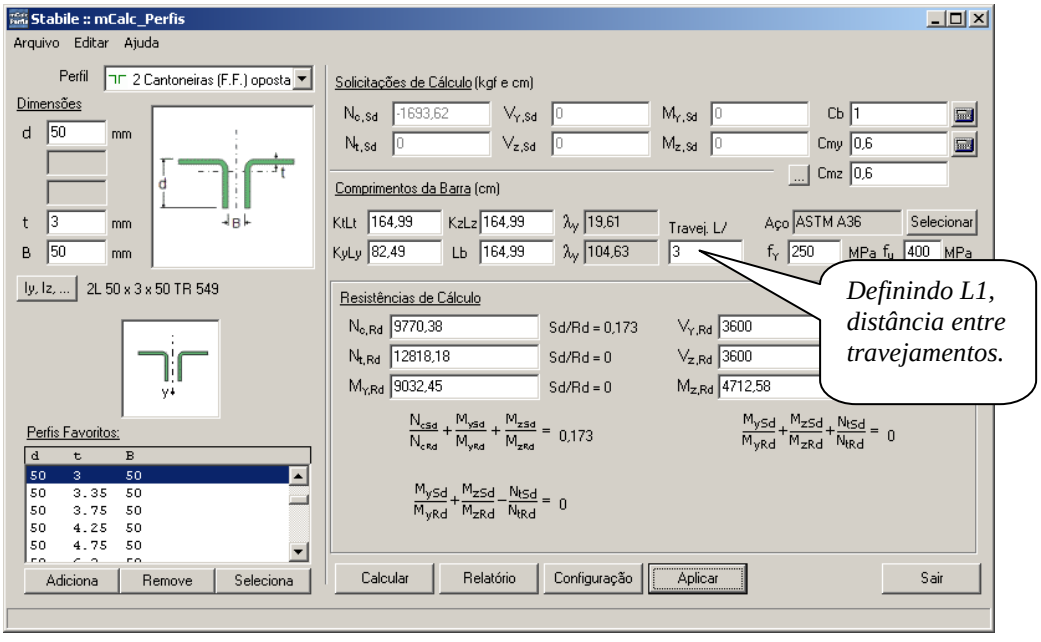
Por orientação da norma DIN 4114 (Deutsche Industrie Normen, 1952), deve-se dispor os elementos de travejamento, pelo menos, nos terços do perfil composto. Essa recomendação foi implementada no programa, forçando o usuário declarar, no mínimo travejamento a cada *L/3*.

Outra recomendação da DIN 4114 é a de afastar as placas de travejamento, L_1, em distâncias menores que $50\ r_{min}$ é oferecida ao usuário, embora essa recomendação possa ser negligenciada.

O **mCalc 3D** tem implementado as rotinas para a verificação de *Perfis Compostos*, descritas acima e disponibiliza para os perfis que seguem:



Ao se abrir a janela de diálogo do Dimensionamento para verificar um *Perfil Composto* deve-se informar ao programa a cada quanto se quer travejar, ou em quantas partes vai se dividir a barra. Assim, o comprimento L1, que é o comprimento de flambagem da barra isolada, ou a distância entre travejamentos, ficará definida por L/ *XX*. Por *default* o travejamento das barras é adotado como a cada L/3.

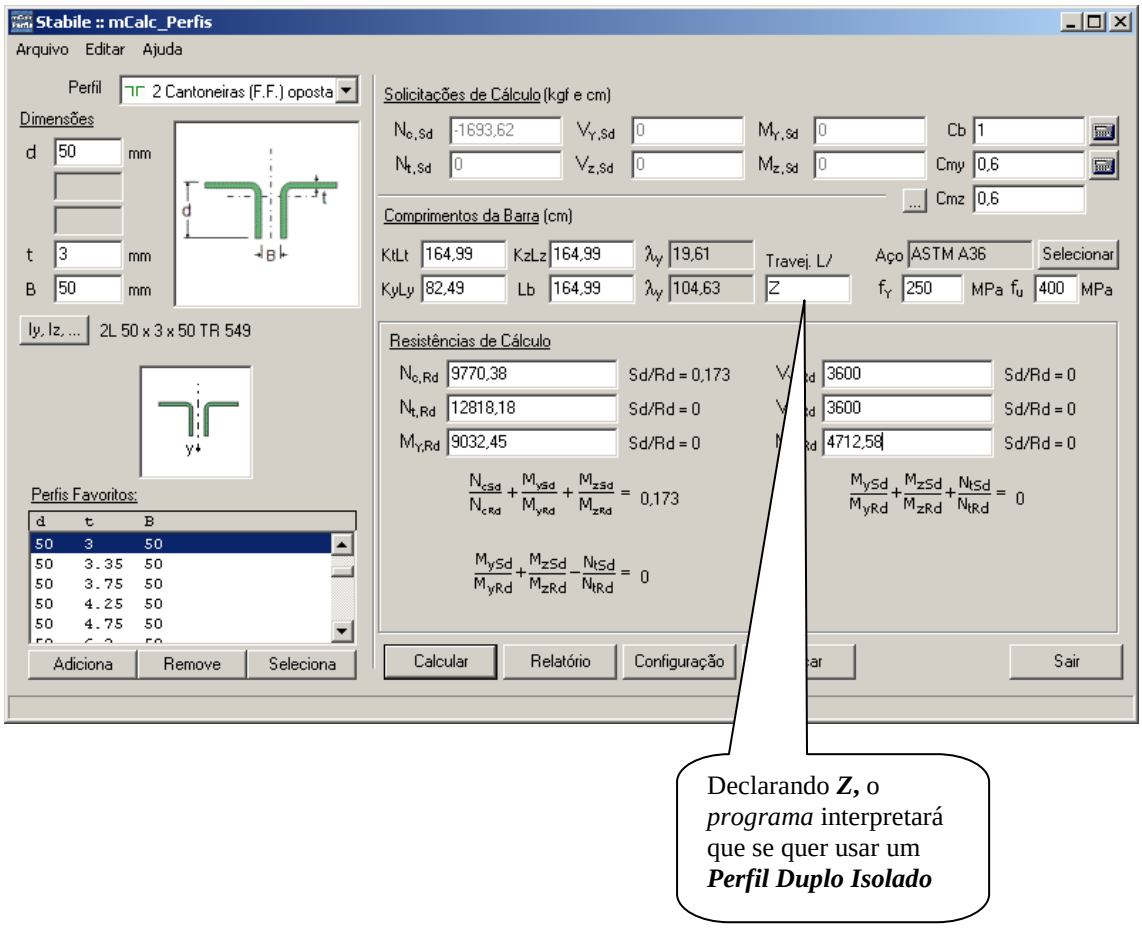


7.12 Perfis Duplos Isolados

No item anterior viu-se que é possível dimensionar barras usando *Perfis Compostos* com o **mCalc 3D**. Entretanto para barras com comprimento pequeno, ou em barras solicitadas somente à tração, é interessante adotá-las com perfis duplos, porém não travejados entre si, ou seja: perfis duplos isolados.

Para esses casos a resistência de cálculo será calculada como o dobro da resistência de cálculo de uma barra isolada, com o comprimento de flambagem igual à distância entre os dois nós que formam a barra.

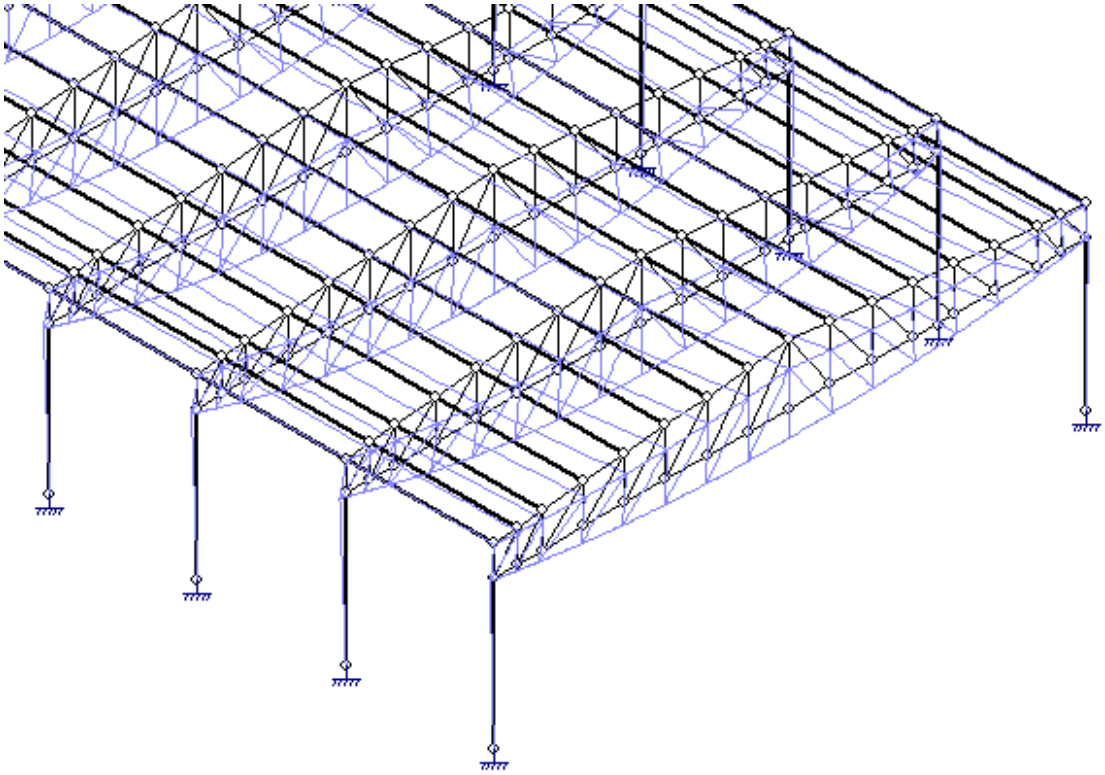
A maneira de se usar *Perfis Duplos Isolados* é a mesma adotada para *Perfis Compostos*: selecionam-se as barras a dimensionar, abre-se a janela de diálogo, escolhe-se o perfil duplo e digita-se *Z* (de Zero) ao se informar o travejamento. Assim o programa interpretará que os perfis NÃO serão travejados, configurando 2 perfis isolados.



Declarando ***Z,*** o *programa* interpretará que se quer usar um ***Perfil Duplo Isolado***

CAPÍTULO 8.

MÓDULO RESULTADOS



CAPÍTULO 8. MÓDULO RESULTADOS

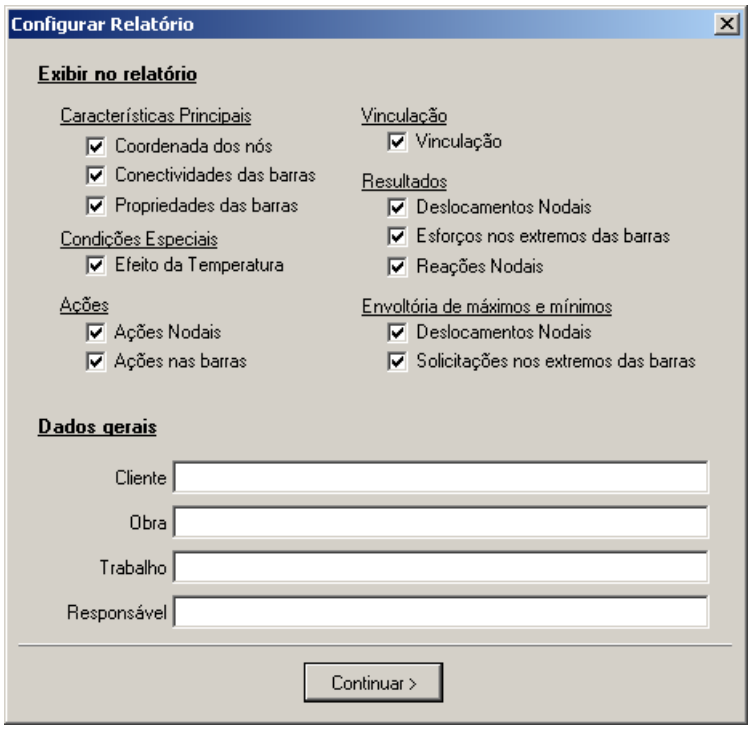
8.1. INTRODUÇÃO

Ao término das etapas de **Análise** ou de **Dimensionamento** o sistema **mCalc 3D** disponibiliza os relatórios da Análise e do Dimensionamento e os diagramas das combinadas criadas na Análise. Para se ter acesso clica-se sobre o módulo **Resultados**.

8.2. Relatório da ANÁLISE

Apresenta o relatório completo da análise estrutural.

Quando se processa a análise da estrutura, em seguida surge uma janela, na qual seleciona-se que dados desejam-se que sejam exibidos no relatório de análise:



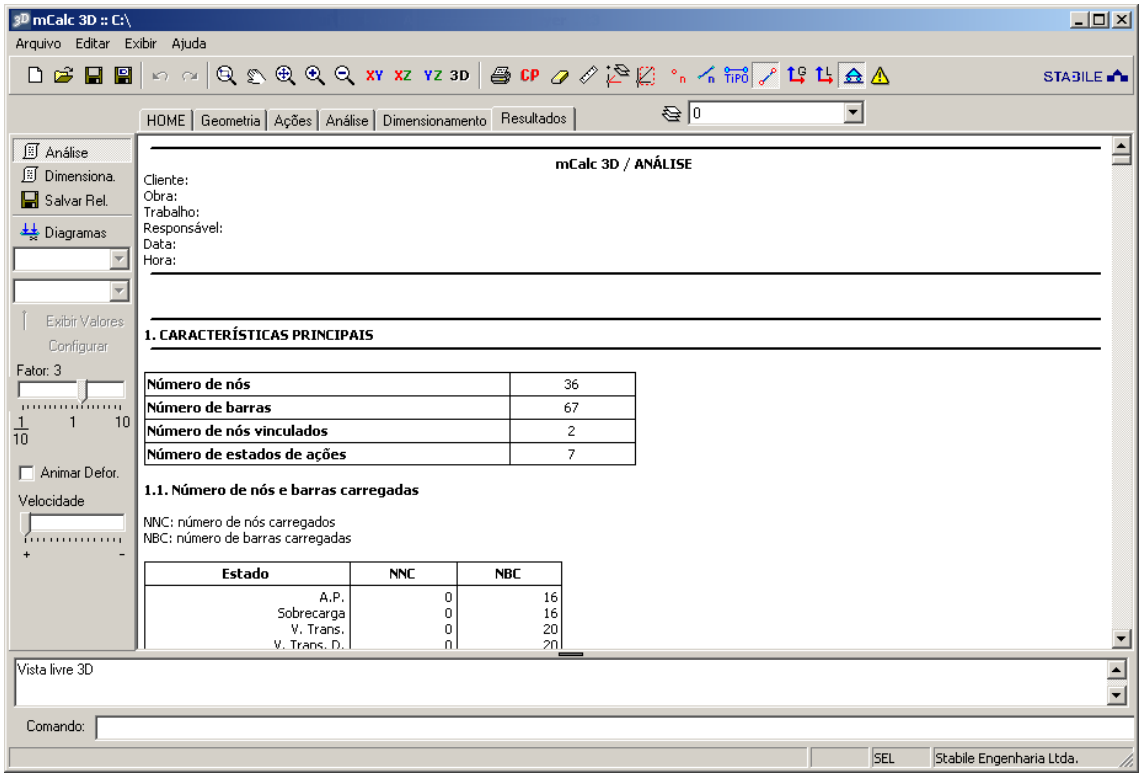
Os itens marcados serão apresentados, posteriormente, no módulo de Resultados no Relatório de Análise.

Ativa-se esse comando clicando sob o botão

.

Ao se ativar esse comando serão apresentados, em forma de relatório, os dados da estrutura – geometria, ações, propriedades, vinculação – e os resultados – deslocamentos nodais, forças e momentos nas extremidades das barras, combinação por combinação de estados de ações.

O módulo **Resultados** apresenta, também, a envoltória de máximos e mínimos – deslocamentos e solicitações – e ao final do relatório, as reações de apoio para todos os estados de ações isolados.



O relatório apresentado é um arquivo.RTF, que possibilita sua exportação para os editores de texto mais usados no mercado.

Esse relatório poderá ser gravado num arquivo como: NomeArquivo_.RTF. Para isso, basta clicar com o botão esquerdo do mouse sob

.E pode-se editá-lo com qualquer editor de textos e da mesma forma imprimi-lo como tal.

Caso se tenha gerado os dados da estrutura com o auxílio do **Assistente de Projetos** (geração automática de dados) antes do relatório da Análise, será apresentado o relatório

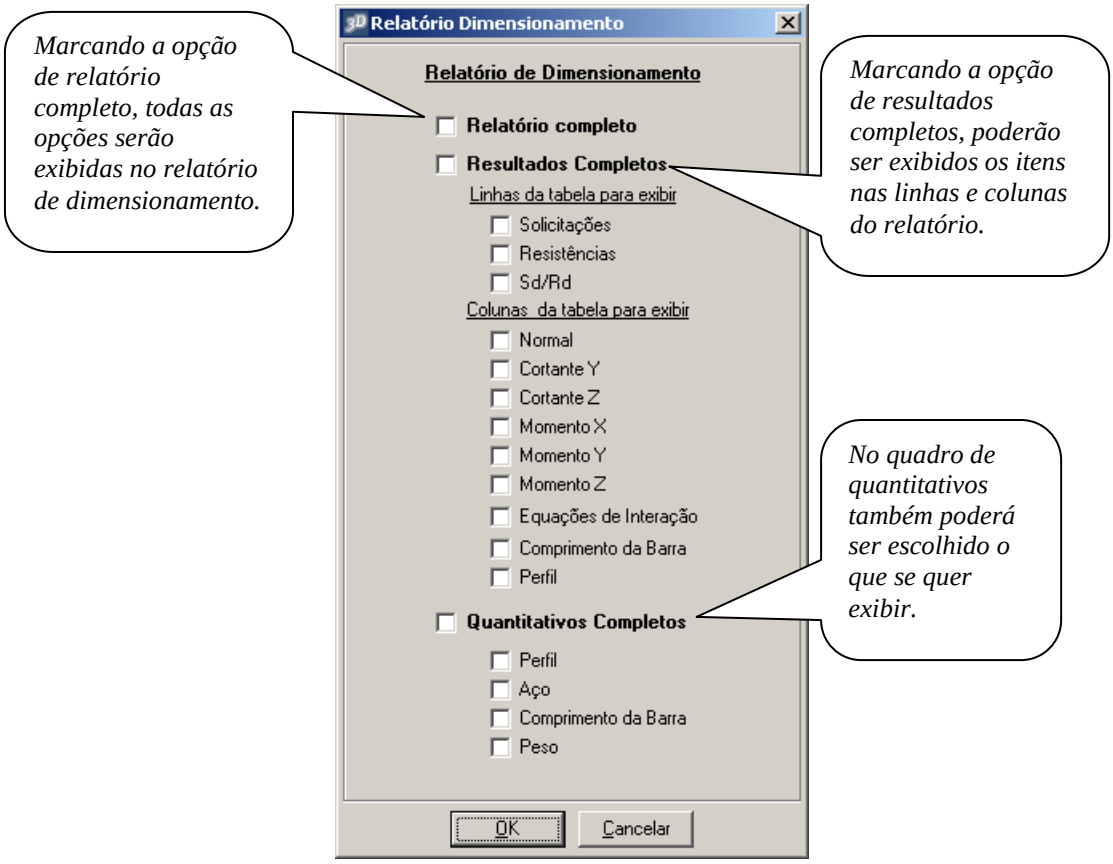
dessa Geração Automática.

8.3 Relatório do DIMENSIONAMENTO

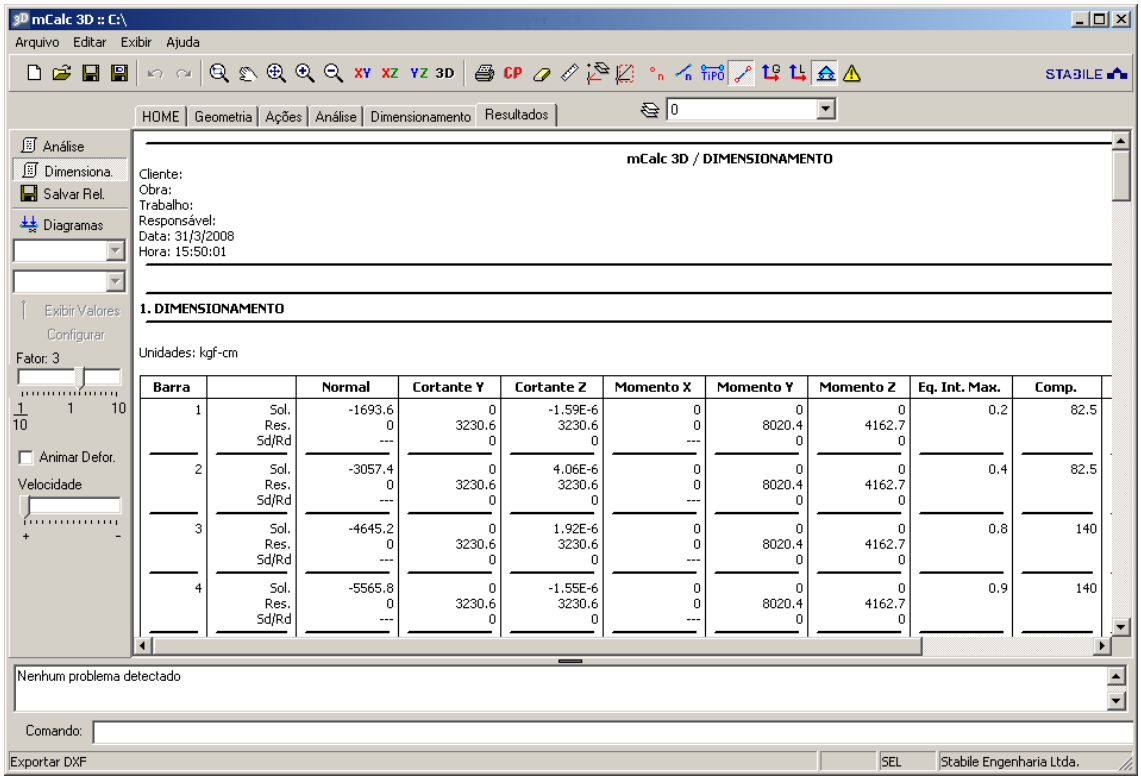
Será utilizado para mostrar o relatório do dimensionamento.

Ativa-se esse comando clicando sob o botão Dimensionamento

com o botão esquerdo do mouse. Então surgirá uma janela para que selecionem o que se desejam ser exibido no relatório:



Ao se pressionar o botão *OK* o sistema **mCalc 3D**, automaticamente apresentará na tela o relatório do Dimensionamento, apresentando os dados que foram selecionados para exibição.

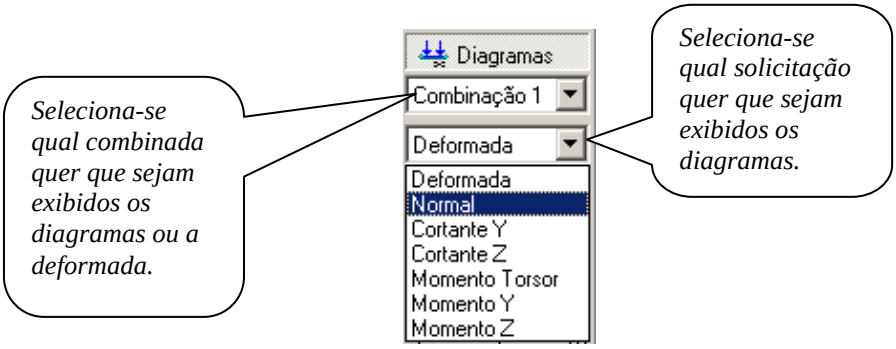

mCalc 3D :: C:\
Arquivo Editar Exibir Ajuda
STABILE
HOME Geometria Ações Análise Dimensionamento Resultados
Análise
Dimensiona.
Salvar Rel.
Diagramas
Exibir Valores
Configurar
Fator: 3
Animar Defor.
Velocidade
mCalc 3D / DIMENSIONAMENTO
Cliente:
Obra:
Trabalho:
Responsável:
Data: 31/3/2008
Hora: 15:50:01
1. DIMENSIONAMENTO
Unidades: kgf-cm
Barra | Normal | Cortante Y | Cortante Z | Momento X | Momento Y | Momento Z | Eq. Int. Max. | Comp.
1 Sol. -1693.6 0 -1.59E-6 0 0 0 0.2 82.5
Res. 0 3230.6 3230.6 0 8020.4 4162.7
Sd/Rd --- 0 0 --- 0 0
2 Sol. -3057.4 0 4.06E-6 0 0 0 0.4 82.5
Res. 0 3230.6 3230.6 0 8020.4 4162.7
Sd/Rd --- 0 0 --- 0 0
3 Sol. -4645.2 0 1.92E-6 0 0 0 0.8 140
Res. 0 3230.6 3230.6 0 8020.4 4162.7
Sd/Rd --- 0 0 --- 0 0
4 Sol. -5565.8 0 -1.55E-6 0 0 0 0.9 140
Res. 0 3230.6 3230.6 0 8020.4 4162.7
Sd/Rd --- 0 0 --- 0 0
Nenhum problema detectado
Comando:
Exportar DXF
SEL
Stabile Engenharia Ltda.

O relatório do Dimensionamento poderá, também, ser salvo como arquivo tipo.RTF que poderá ser exportado para qualquer editor de texto. Pode-se editá-lo com qualquer editor de textos e da mesma forma imprimi-lo como tal.

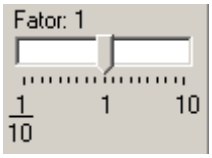
8.4. Comando DIAGRAMAS

Será utilizado para a visualização da deformada e dos diagramas das solicitações de cada combinação calculada.

Ativa-se esse comando clicando sobre o botão Diagramas, então habilitará uma lista para escolher a combinada e outra para escolher a deformada ou o tipo de solicitação.



Para efeito de melhor visualização, pode-se acentuar ou reduzir o desenho da deformada ou diagrama através de uma régua:



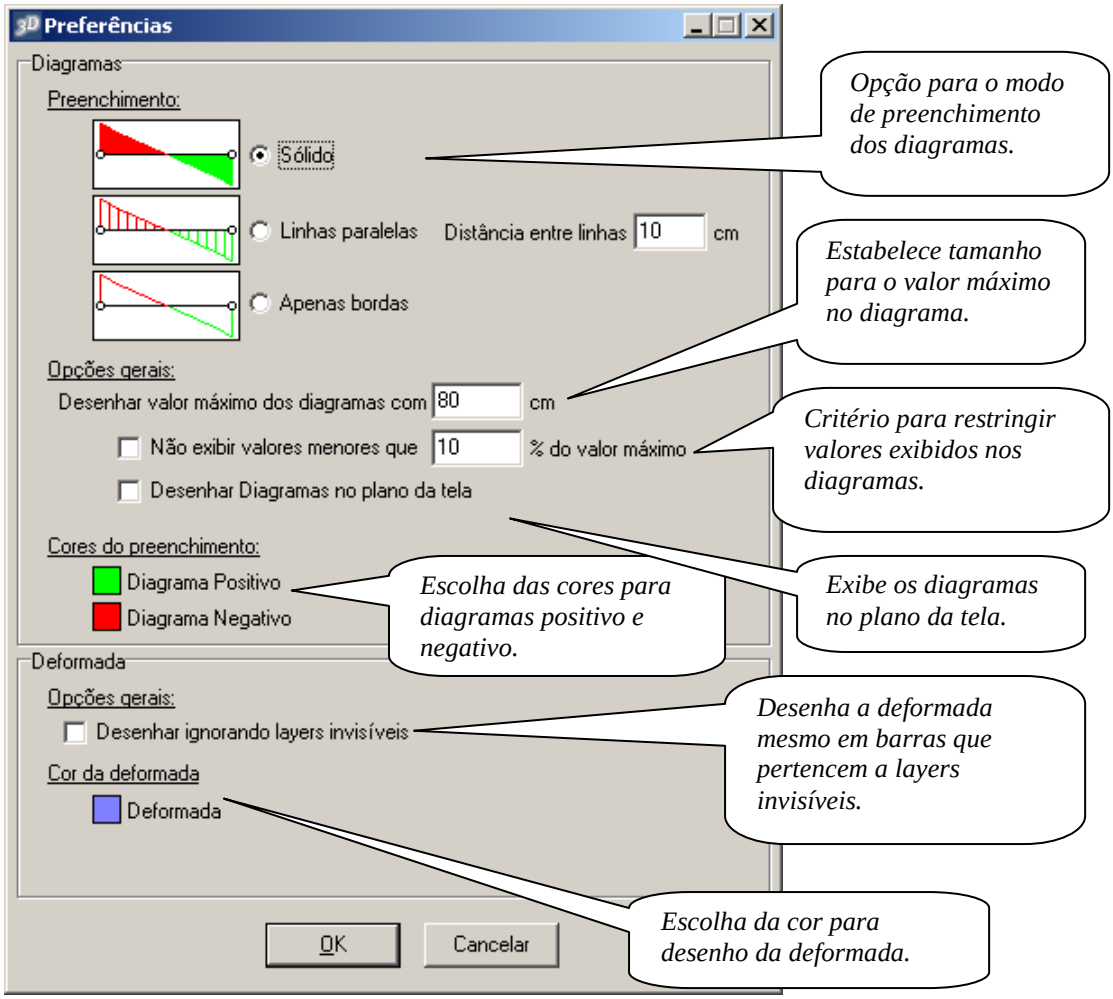
No caso de selecionar a deformada para ser exibida, estará habilitada a opção de animar a deformada:

Este comando permite que o desenho da deformada mova-se, com velocidade configurável.

No caso de selecionar a exibição de um dos diagramas, deve-se configurá-lo, clicando no botão

.

Nesta janela também poderão ser configuradas algumas opções referentes a deformada.


Preferências
Diagramas
Preenchimento:
Sólido
Linhas paralelas
Distância entre linhas 10 cm
Apenas bordas
Opções gerais:
Desenhar valor máximo dos diagramas com 80 cm
Não exibir valores menores que 10 % do valor máximo
Desenhar Diagramas no plano da tela
Cores do preenchimento:
Diagrama Positivo
Diagrama Negativo
Deformada
Opções gerais:
Desenhar ignorando layers invisíveis
Cor da deformada
Deformada
OK
Cancelar
Opção para o modo de preenchimento dos diagramas.
Estabelece tamanho para o valor máximo no diagrama.
Critério para restringir valores exibidos nos diagramas.
Exibe os diagramas no plano da tela.
Escolha das cores para diagramas positivo e negativo.
Desenha a deformada mesmo em barras que pertencem a layers invisíveis.
Escolha da cor para desenho da deformada.

Quando estiver sendo exibido algum diagrama de solicitações, o botão de exibir valores estará habilitado. Clicando sob Exibir Valores, os valores da solicitação selecionada serão exibidos nos extremos da barras.

ANEXO A

EXEMPLO COMPLETO

ANEXO A

A.1 EXEMPLO

Apresenta-se o cálculo completo de uma cobertura em malha espacial utilizando-se o **mCalc 3D**.

Dados da cobertura:

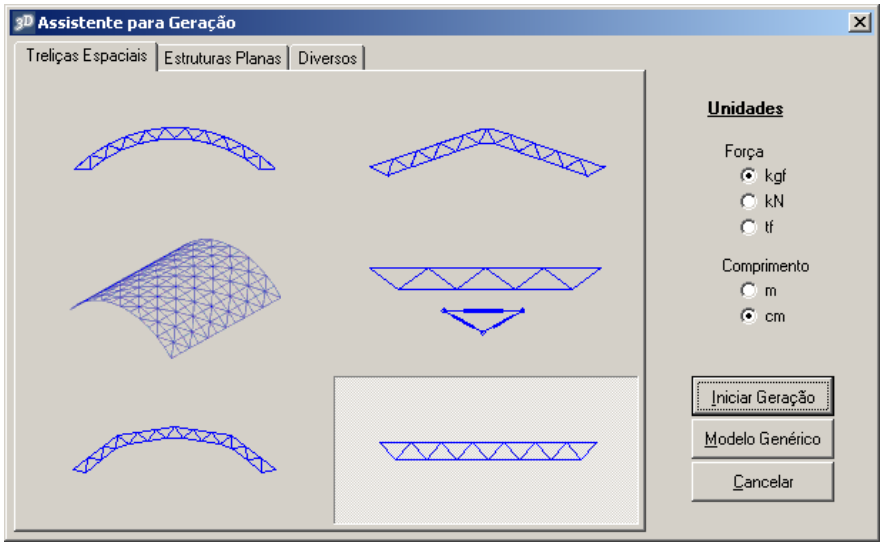
Vão Teórico ..... *15,00 m*
Comprimento..... ..... *15,00 m*
Pé-direito ..... *5,00 m*
Altura da Treliça..... ..... *0,75 m*
Localização: Zona Industrial de Uberaba / MG
Aberturas periféricas: igual permeabilidade em todas as faces

Solução:

Abre-se o **mCalc 3D**. Por *default*, o programa inicia com um arquivo em branco. Clica-se no botão salvar, para dar um nome ao arquivo e salvar os trabalhos.

1º. Passo:

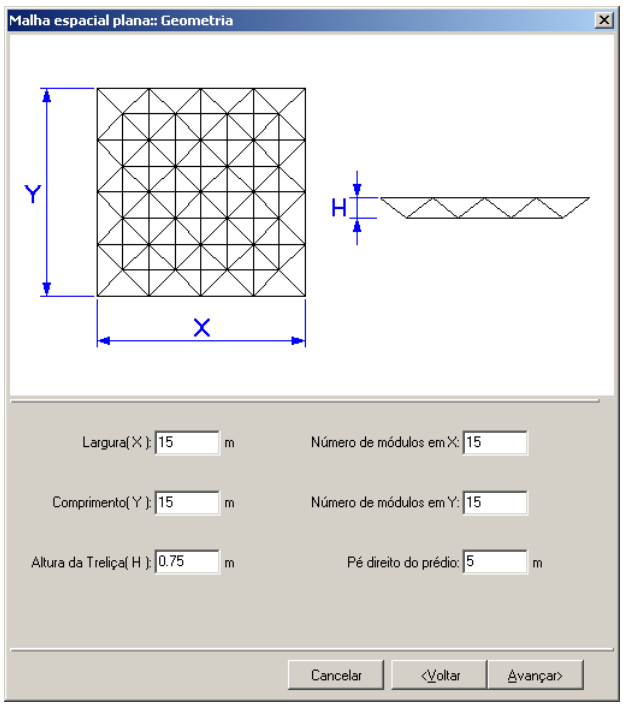
Clica-se na aba *Treliças Espaciais*, e em seguida seleciona-se a estrutura tipo malha plana. Neste exemplo, trabalharemos com o sistema de unidades em centímetros (cm) e quilograma força (kgf).



Depois de selecionado o tipo de estrutura e as unidades, prossegue-se com a entrada de dados clicando no botão

.

Declaram-se os dados geométricos da estrutura, como largura, comprimento, altura, número de módulos e pé direito.

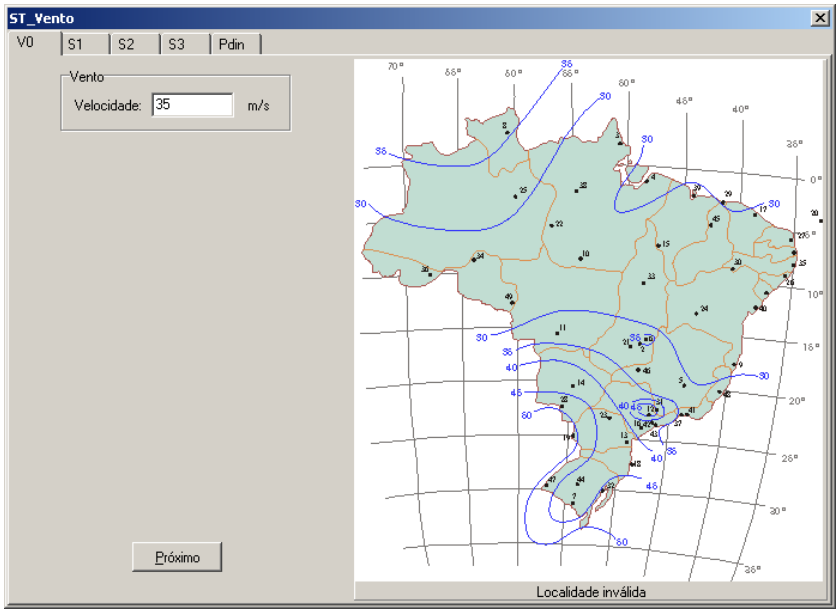


2º. Passo:

Declaram-se os dados relativos às ações:

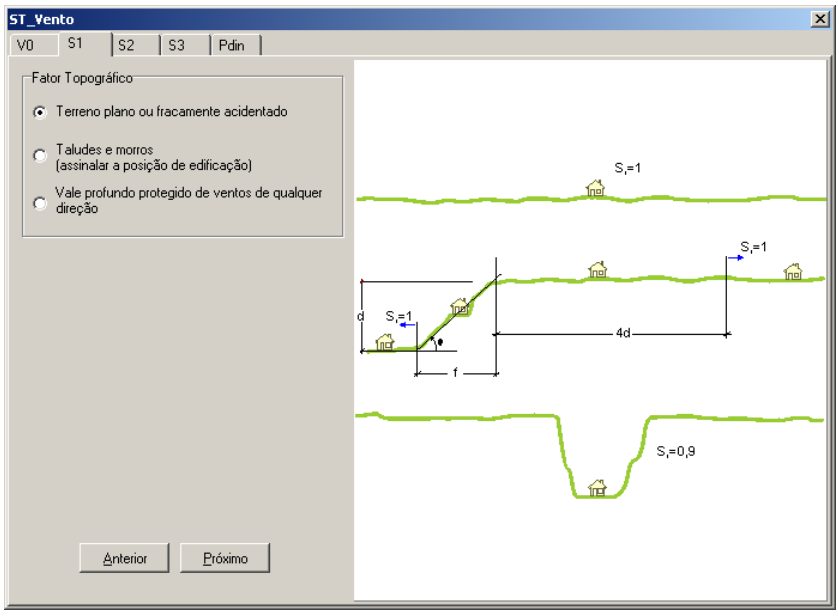
- *Peso Próprio da treliça..... .....8 kgf/m²*
- *Ação permanente (telhas, forro, etc.)..... 10 kgf/m²*
- *Sobrecarga de utilização ..... 25 kgf/m²*
- *Pressão Dinâmica*

Pode-se calcular, previamente, a pressão dinâmica ou usar o programa para determiná-la. Nesse caso basta seguir os passos indicados pelo **mCalc 3D**: clica-se sobre o botão *Determinar* e será aberta a seguinte janela:



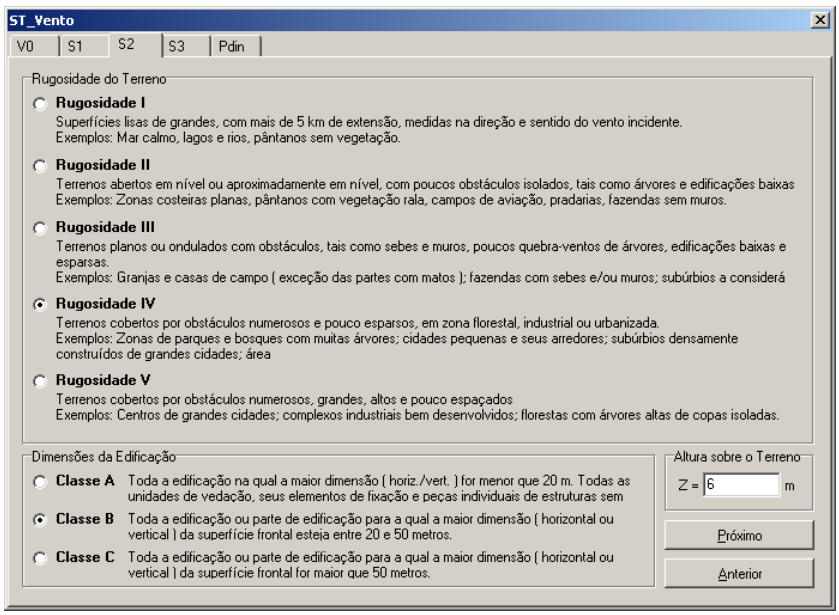
Declara-se o lugar onde a obra será edificada clicando-se sobre o ponto.

Fator Topográfico S1: declara-se o tipo de topografia no qual o terreno está implantado.



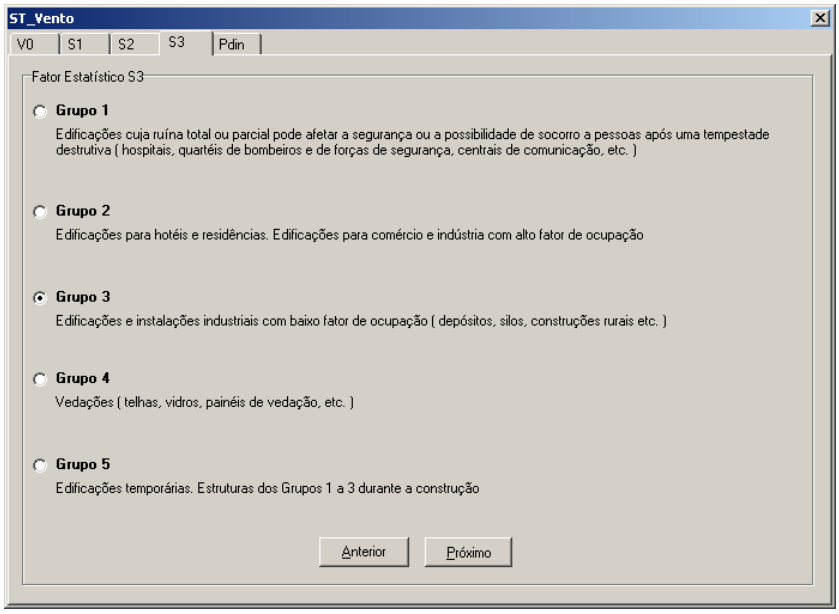
Fator de Rugosidade S2

Declaram-se dados para a determinação de S2: Rugosidade do terreno, Classe da edificação (dimensões da edificação) e nível acima do terreno que se quer avaliar S2.

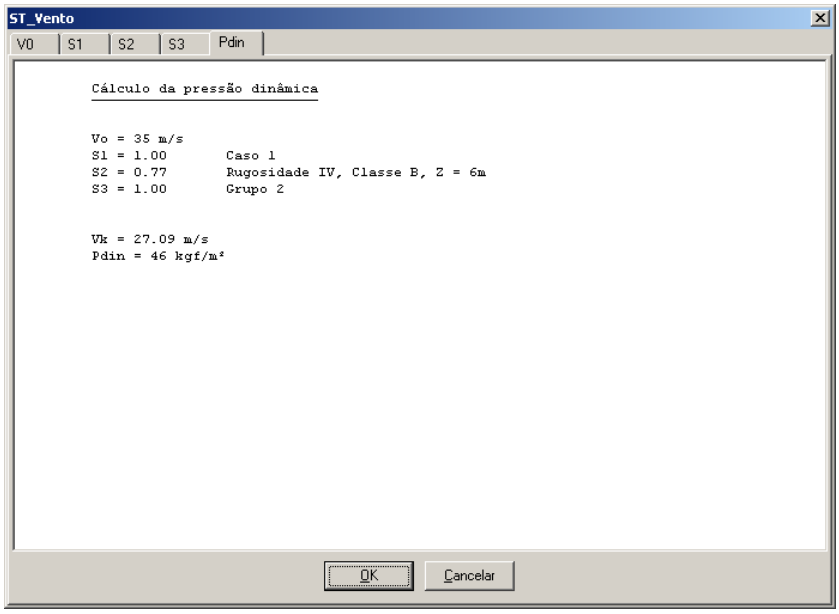

ST_Vento
V0
S1
S2
S3
Pdin
Rugosidade do Terreno
Rugosidade I
Superfícies lisas de grandes, com mais de 5 km de extensão, medidas na direção e sentido do vento incidente.
Exemplos: Mar calmo, lagos e rios, pântanos sem vegetação.
Rugosidade II
Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas
Exemplos: Zonas costeiras planas, pântanos com vegetação rala, campos de aviação, pradarias, fazendas sem muros.
Rugosidade III
Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.
Exemplos: Granjas e casas de campo (exceção das partes com matos); fazendas com sebes e/ou muros; subúrbios a considerá
Rugosidade IV
Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco esparsos, em zona florestal, industrial ou urbanizada.
Exemplos: Zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades; área
Rugosidade V
Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados
Exemplos: Centros de grandes cidades; complexos industriais bem desenvolvidos; florestas com árvores altas de copas isoladas.
Dimensões da Edificação
Classe A Toda a edificação na qual a maior dimensão (horiz./vert.) for menor que 20 m. Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem
Classe B Toda a edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão (horizontal ou vertical) da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros.
Classe C Toda a edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão (horizontal ou vertical) da superfície frontal for maior que 50 metros.
Altura sobre o Terreno
Z = 6 m
Próximo
Anterior

Fator Estatístico S3

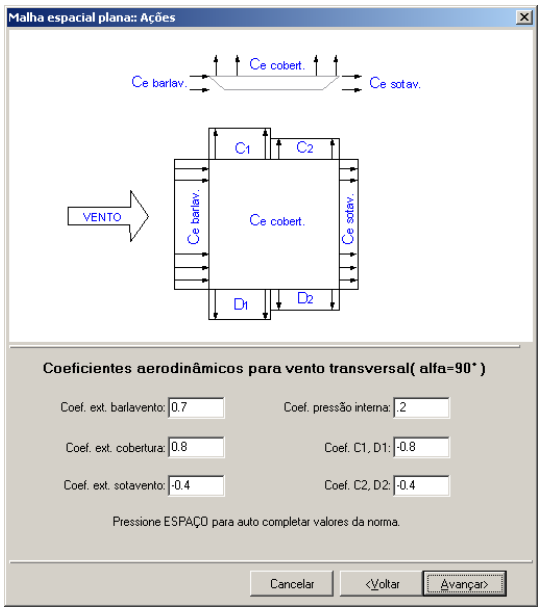
Declara-se a maior ou menor responsabilidade que a obra a ser implantada terá frente a uma tempestade destrutiva.

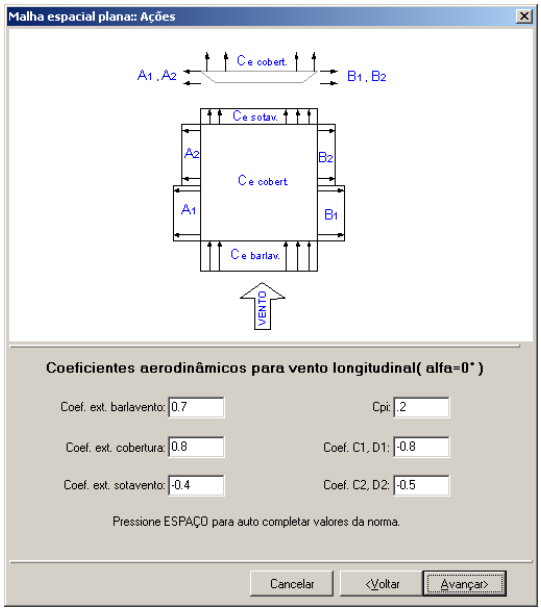

ST_Vento
V0
S1
S2
S3
Pdin
Fator Estatístico S3
Grupo 1
Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou a possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)
Grupo 2
Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação
Grupo 3
Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais etc.)
Grupo 4
Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)
Grupo 5
Edificações temporárias. Estruturas dos Grupos 1 a 3 durante a construção
Anterior
Próximo

Uma vez confirmados os dados o programa apresentará a memória de cálculo da pressão dinâmica.



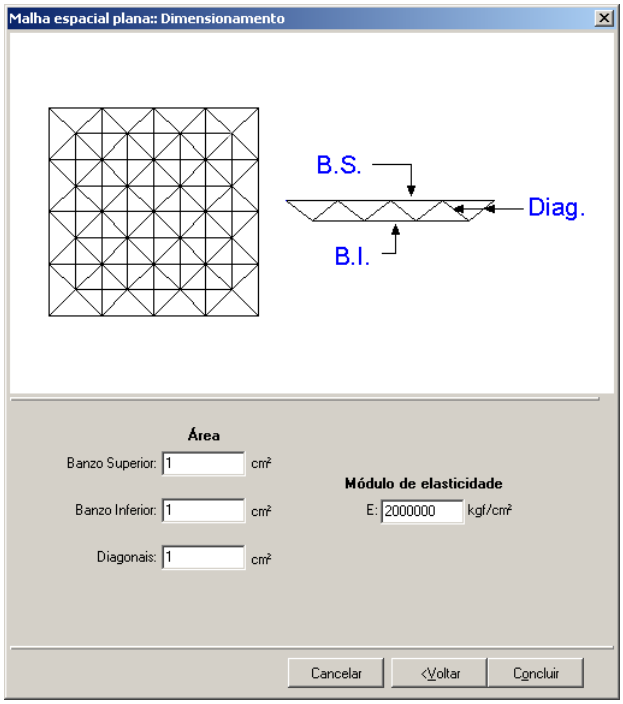
Declaram-se os valores dos coeficientes de pressão interna para vento transversal, longitudinal (que dependem das áreas de aberturas das paredes) e o coeficiente de forma para o vento longitudinal (que depende da posição que está a estrutura que se vai calcular, em relação ao prédio).



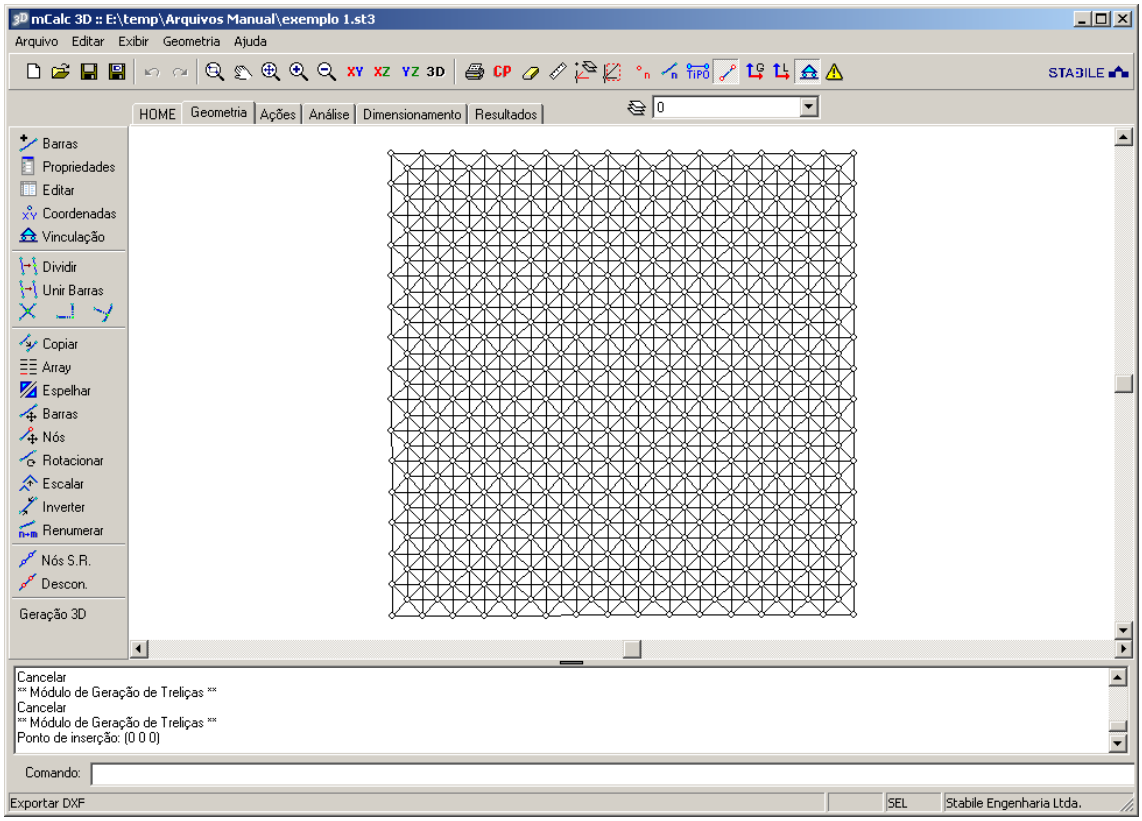


3º. Passo:

Inicializa-se as variáveis B. Superior, Inferior, e Diagonais, declarando-se suas áreas. Deve-se declarar também o Módulo de Elasticidade (E) do aço que será utilizado no projeto.



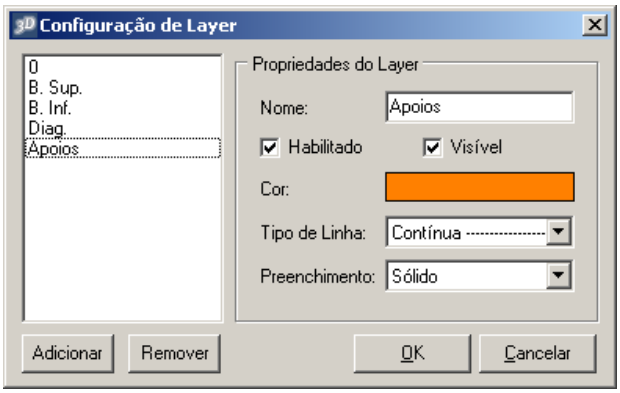
Clicando-se no botão *OK*, depois das declarações, o **mCalc 3D** gerará a estrutura:



4º. Passo: **Geometria**

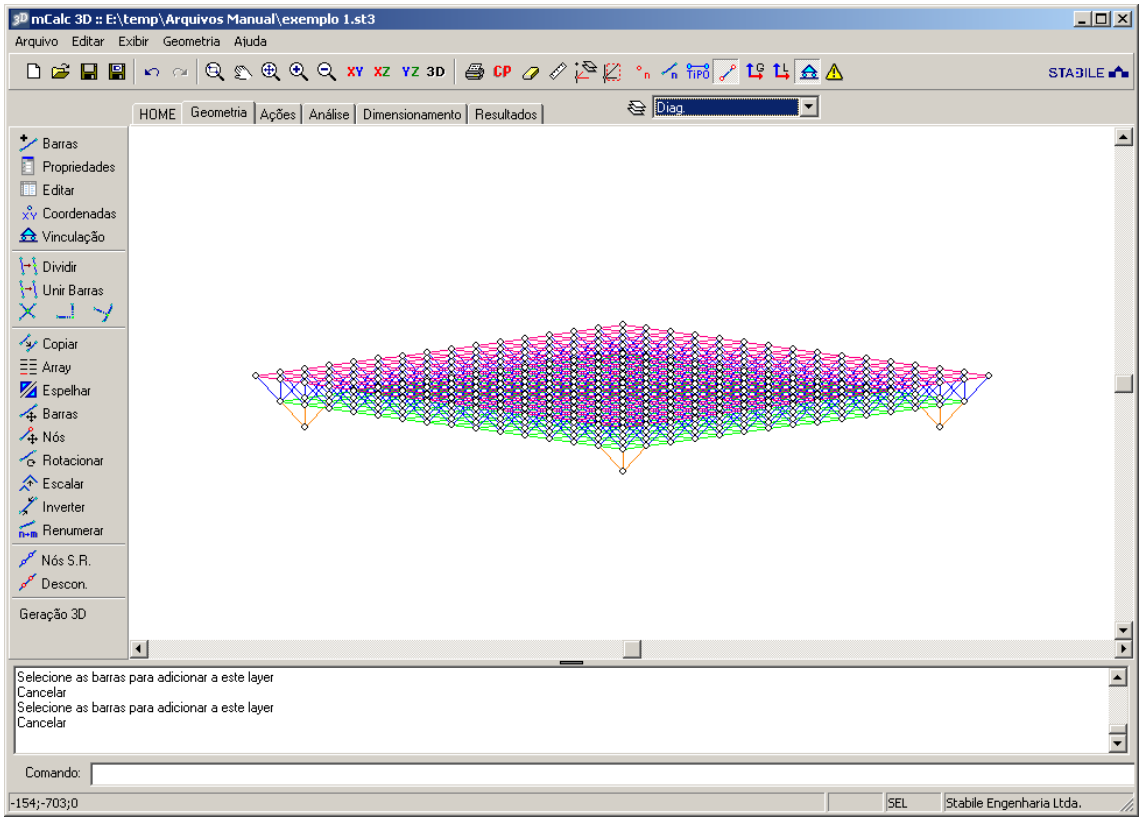
Para facilitar a edição e a visualização da estrutura, criaremos layers, que serão aplicados às barras. Clica-se sobre o botão de edição de layers e cria-se 4 novos layers, sugere a imagem abaixo.

Aplicam-se os novos layers às barras correspondentes (B. Sup. para o banzo superior, B. Inf. para o inferior e Diag. para as diagonais).



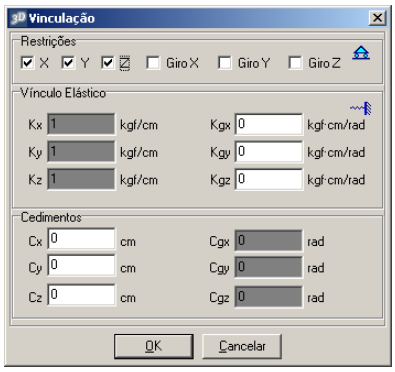
Nesse módulo acrescentam-se os pés-de-galinha (apoios) da cobertura.

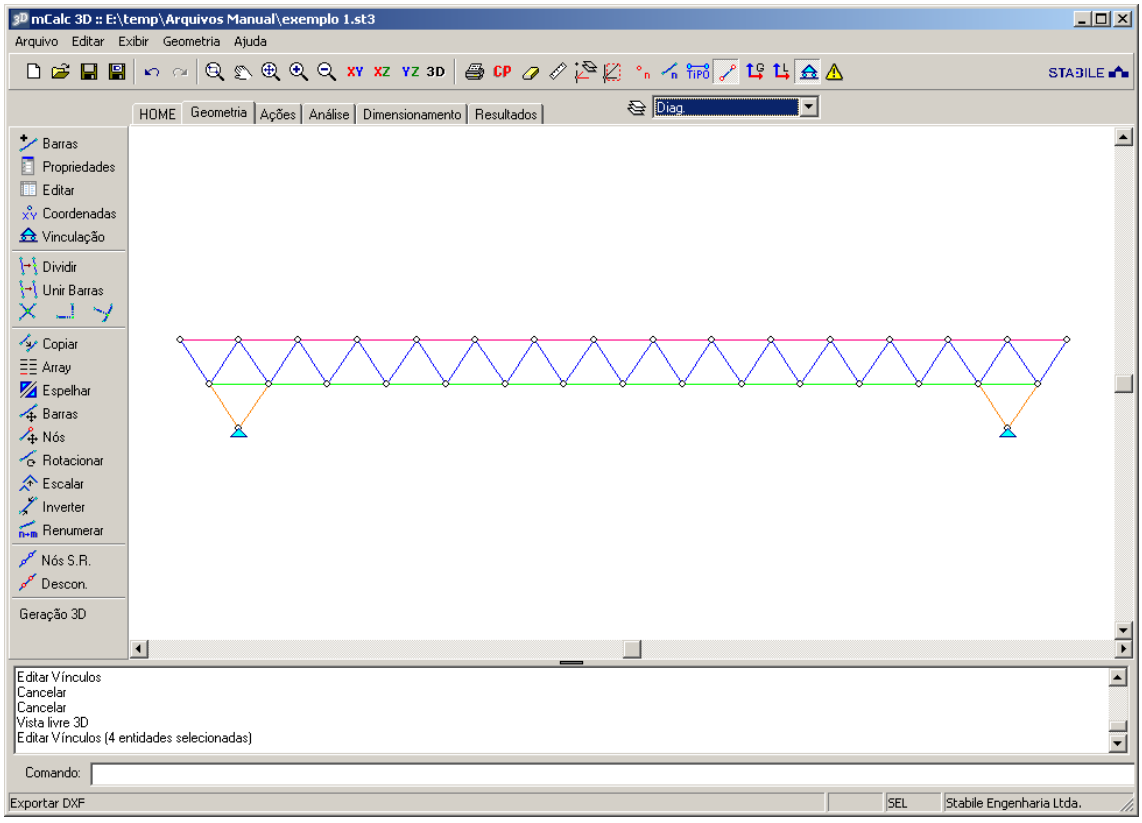
Uma maneira mais fácil de criar as barras de apoio é copiar um conjunto de diagonais da treliça para o banzo inferior.



É necessário ainda declarar os nós vinculados da estrutura. Para isso, seleciona-se o comando Vinculação, seleciona-se os nós inferiores das barras de apoio (pés-de-galinha) e confirma-se com <Enter>. Nesse exemplo, utilizaremos apoios

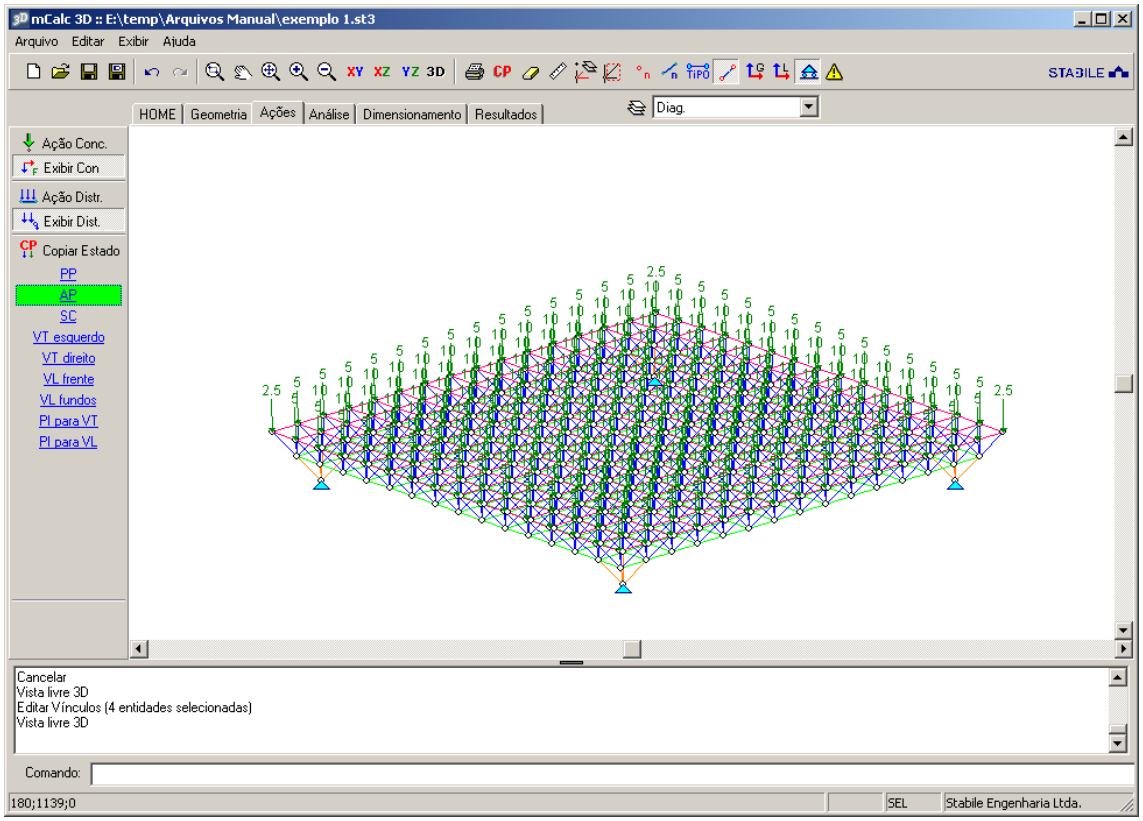
rotulados, com restrição nas três direções principais (X,Y e Z).





5º. Passo: **Ações**

Passando-se para o módulo de Ações:



O **Assistente de Projetos** gerou nove estados de ações: *Peso Próprio*, *Ação Permanente*, *Sobrecarga*, *Vento Transversal esquerdo*, *Vento Transversal direito*, *Vento Longitudinal de frente*, *Vento Longitudinal de fundos*, *Pressão Interna para V. Transversal* (direito ou esquerdo) e *Pressão Interna para V. Longitudinal* (de frente ou fundos).

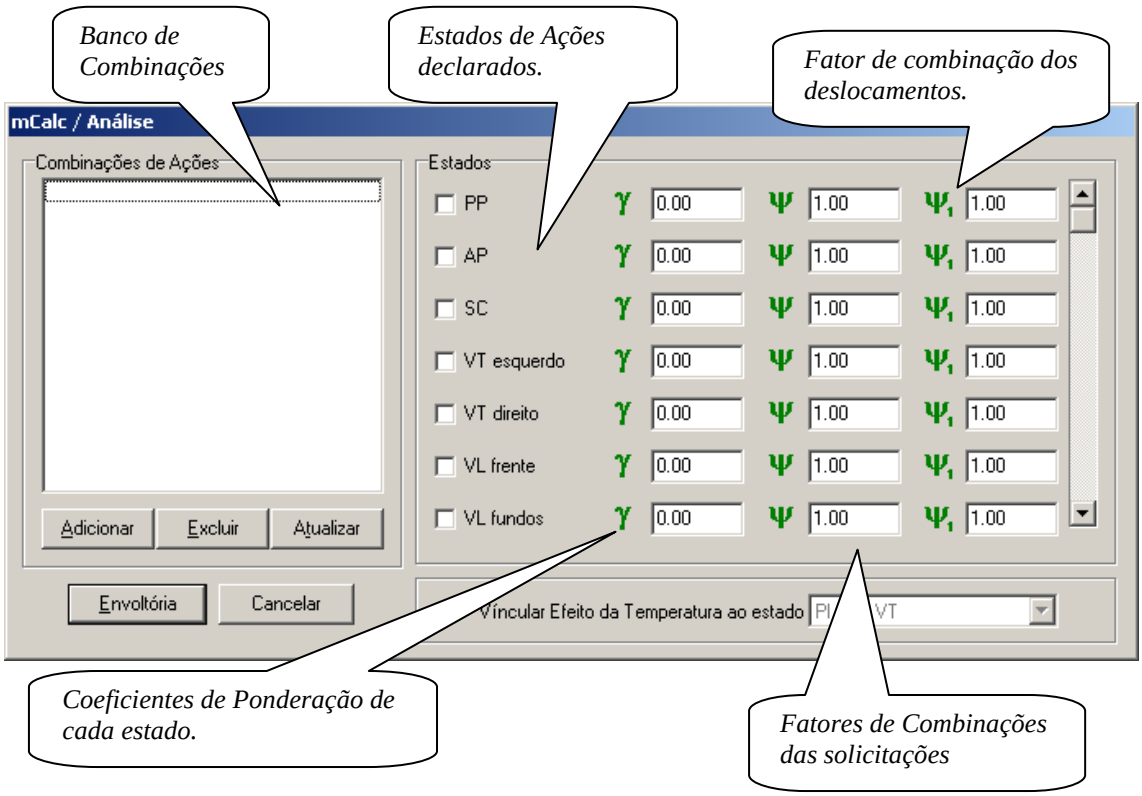
Clicando-se sobre o nome de cada estado, no menu à esquerda, esse estado será ressaltado com uma barra verde de fundo.

Caso o usuário deseje alterar ou acrescentar ações, pode fazê-lo, conforme visto no capítulo 4.

6º. Passo: **Análise**

Passa-se para o módulo de Análise da estrutura.

Surgirá a janela a seguir, apresentando:



Compõe-se as diversas combinações da seguinte forma:

1ª. combinação: 1.4 PP + 1.4 AP + 1.4 Sobrecarga

2ª. combinação: 0.9 PP + 0.9 AP + 1.4 VT esquerdo + 1.4 PI/VT

3ª. combinação: 0.9 PP + 0.9 AP + 1.4 VT direito + 1.4 PI/VT

4ª. combinação: 0.9 PP + 0.9 AP + 1.4 VL frente + 1.4 PI/VL

5ª. combinação: 0.9 PP + 0.9 AP + 1.4 VL fundos + 1.4 PI/VL

Ao final de cada linha pressiona-se o botão *Adicionar*.

Ao se ter declarado todas as combinações pressiona-se o botão *Envoltória* para finalizar **Análise**.

7º. Passo: **Dimensionamento**

O módulo de **Dimensionamento** foi programado para trabalhar como um verificador de perfis: propõe-se um perfil e o módulo **Dimensionamento** calcula e dá a resposta em

termos de *performance* do perfil: a relação $S_d/R_d\%$, i.e. a relação entre a **Solicitação de Cálculo** e a **Resistência de Cálculo**.

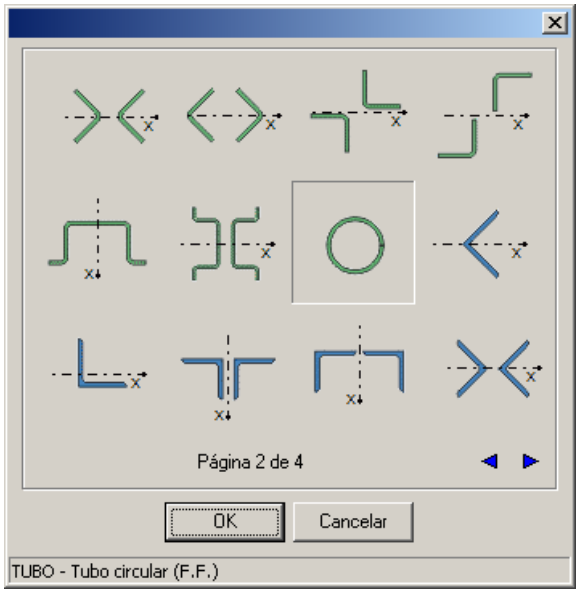
O modo de operação é:

- Clica-se sobre o comando *Dimensionar* e seleciona-se um conjunto de barras
- Confirma-se a seleção com o botão direito do *mouse*
- Escolhe-se o perfil e suas dimensões
- Escolhe-se a orientação que se quer aplicar o perfil na estrutura
- Pressiona-se os botões *Calcular* e *Aplicar* (ou *Aplicar a Todos*)

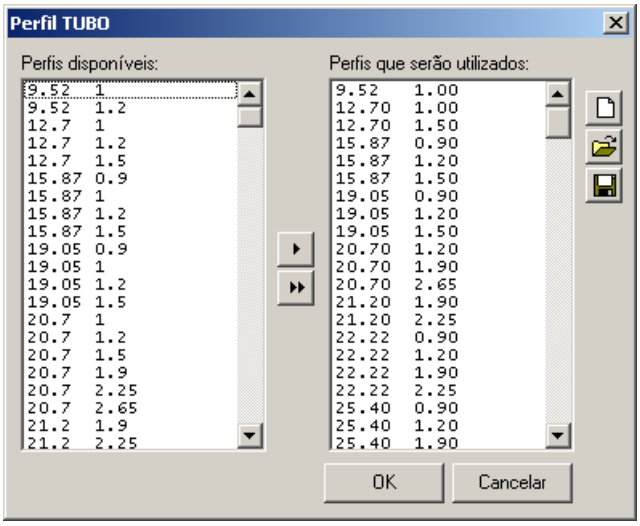
Quando um conjunto grande de barras será dimensionado com um mesmo tipo de perfil (por exemplo, diversas seções de perfil U formado a frio), passa a ser interessante o uso do comando **Autodimensionar**.

Clica-se sobre o botão Autodimens., seleciona-se toda a estrutura e confirma-se com o botão direito do *mouse*.

Na janela que surge, seleciona-se o tipo de perfil a ser adotado. Para o nosso exemplo, utilizaremos perfis tubulares.

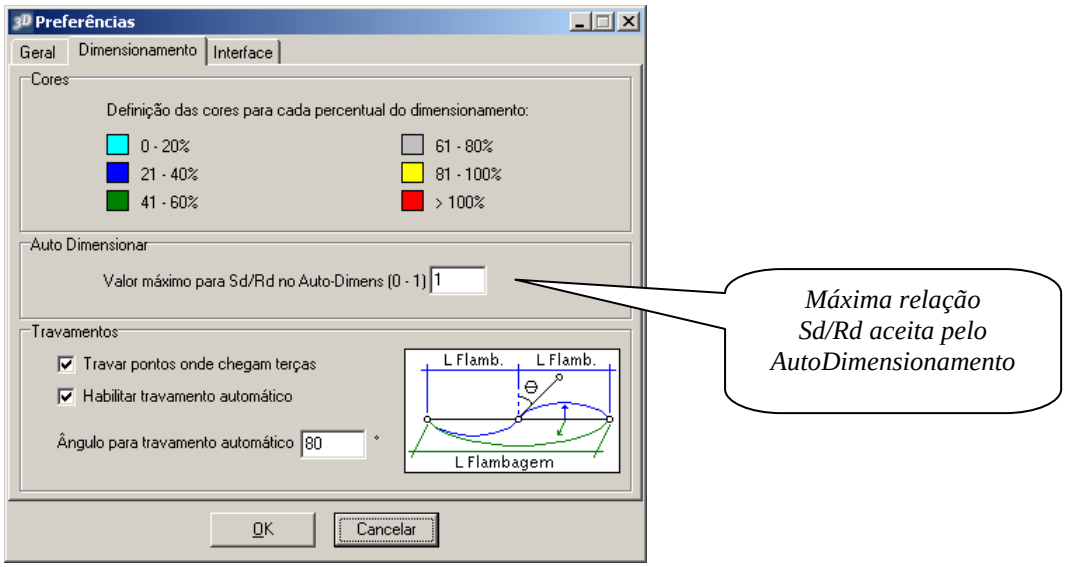


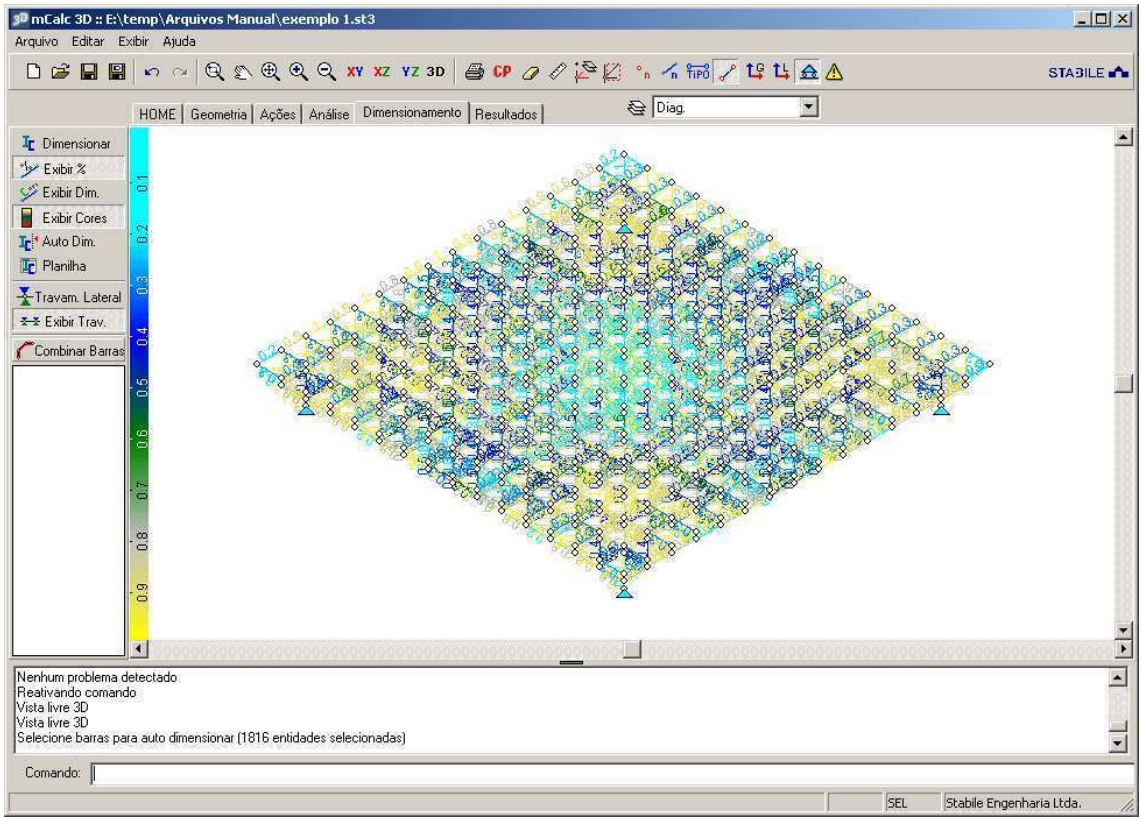
Em seguida, seleciona-se no banco de dados de perfis, quais dimensões serão testadas pelo programa.



O **mCalc 3D** adotará, para cada barra, a menor seção dentre as seções testadas que atenda aos critérios de segurança.

O valor máximo para a relação Solicitação/Resistência pode ser editado na janela de preferências.





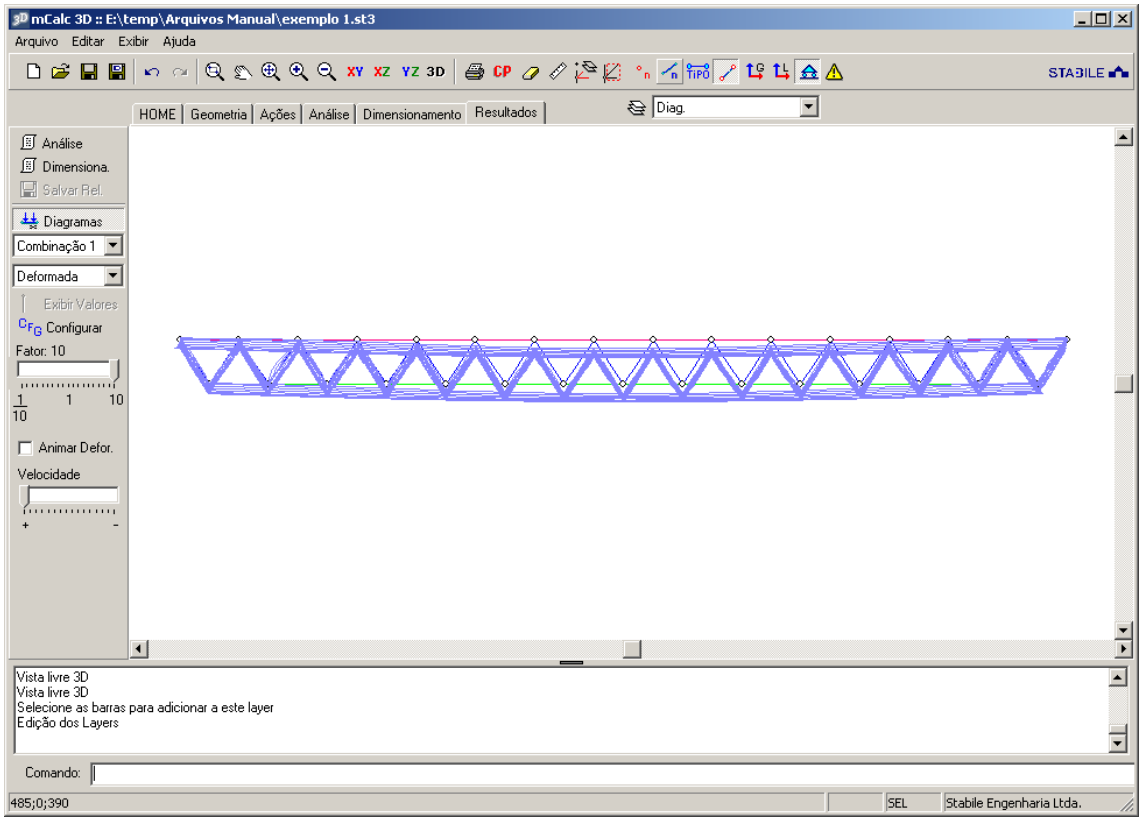
Após o dimensionamento, e clicando sob a aba do módulo de Resultados, o programa perguntará se deseja re-analisar a estrutura. Recomenda-se que faça-se nova análise. Ao analisar a estrutura com as novas propriedades, os deslocamentos e esforços nas barras mudam, sendo necessário, algumas vezes, o redimensionamento das barras que tiveram sua capacidade de carga excedida. Repetindo o autodimensionamento algumas vezes, atualizando as propriedades e analisando a estrutura entre cada dimensionamento, obtém-se uma estrutura mais econômica e segura.

8º. Passo: **Resultados**

O módulo de **Resultados** apresenta os relatórios da *Análise* e do *Dimensionamento*.

Esses relatórios são textos que se pode editar, recortar e colar num editor de textos para personalizar a memória de cálculo, ou imprimi-lo diretamente, pressionando-se o botão *Imprimir*.

O **mCalc 3D** permite ainda visualizar o estado deformado da estrutura para cada combinação de ações. Clica-se sobre *Diagramas* para ver o estado deformado da 1ª combinação de ações e assim sucessivamente.


mCalc 3D :: E:\temp\Arquivos Manual\exemplo 1.st3
Arquivo Editar Exibir Ajuda
STABILE
HOME Geometria Ações Análise Dimensionamento Resultados
Diag.
Análise
Dimensiona.
Salvar Rel.
Diagramas
Combinação 1
Deformada
Exibir Valores
Configurar
Fator: 10
1/10 1 10
Animar Defor.
Velocidade
Vista livre 3D
Vista livre 3D
Selecione as barras para adicionar a este layer
Edição dos Layers
Comando:
485;0;390
SEL
Stabile Engenharia Ltda.

ANEXO B

EXEMPLO COMPLETO

ANEXO B

B.1 EXEMPLO

Apresenta-se o cálculo completo de um galpão a partir de uma estrutura plana utilizando-se o **mCalc 3D**.

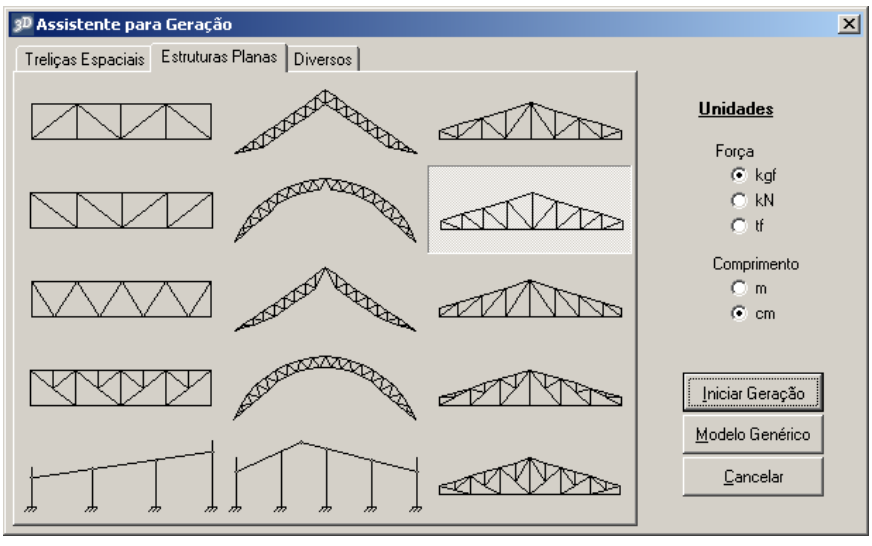
Dados da estrutura:

Vão Teórico ..... *20,00 m*
Comprimento..... *60,00 m*
Altura Máxima ..... *2,00 m*
Altura Mínima ..... *1,00 m*
Inter-terças ..... *1,40 m*
Inter-tesouras ..... *5,00 m*
Pé-direito ..... *5,00 m*
Comprimento..... *60,00 m*
Localização: Zona Industrial de Curitiba / PR

Solução:

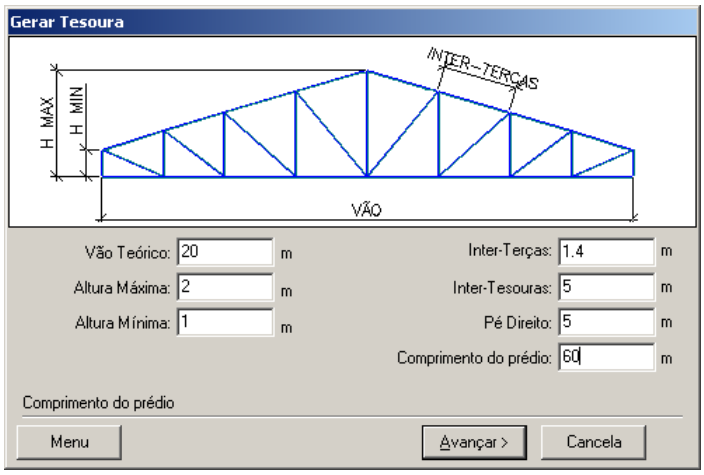
1º. Passo:

Clica-se na aba *Estruturas Planas*, e em seguida seleciona-se a segunda tesoura da terceira coluna. Neste exemplo, trabalharemos com o sistema de unidades em centímetros (cm) e quilograma força (kgf).



Depois de selecionado o tipo de estrutura e as unidades, prossegue-se com a entrada de dados clicando no botão

.

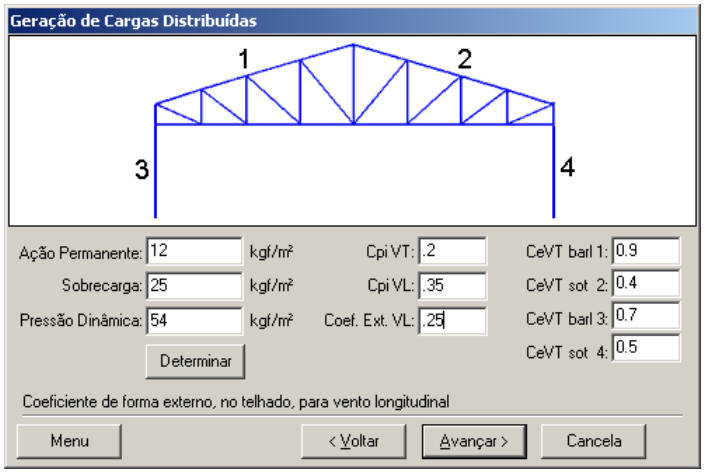


2º. Passo:

Declaram-se os dados relativos às ações:

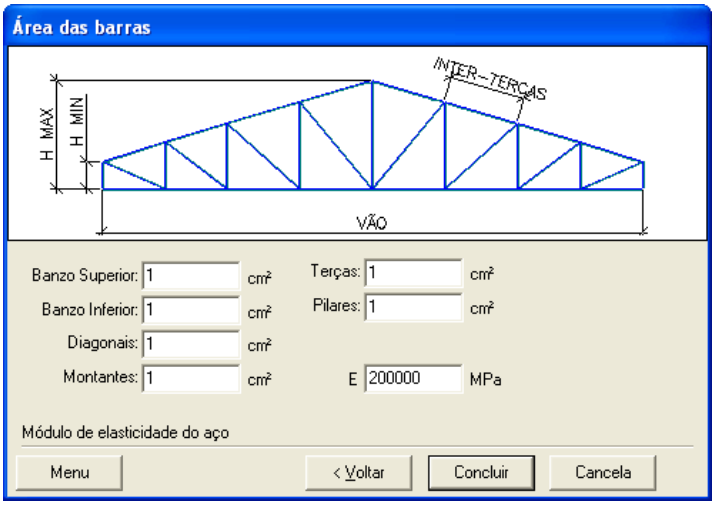
- *Ação permanente (telhas, forro, etc.)..... 12 kgf/m²*
- *Sobrecarga de utilização ..... 25 kgf/m²*
- *Pressão Dinâmica .....54 kgf/m²*

Declaram-se os valores dos coeficientes de pressão interna para vento transversal, longitudinal (que dependem das áreas de aberturas das paredes) e o coeficiente de forma para o vento longitudinal (que depende da posição que está a estrutura que se vai calcular, em relação ao prédio).

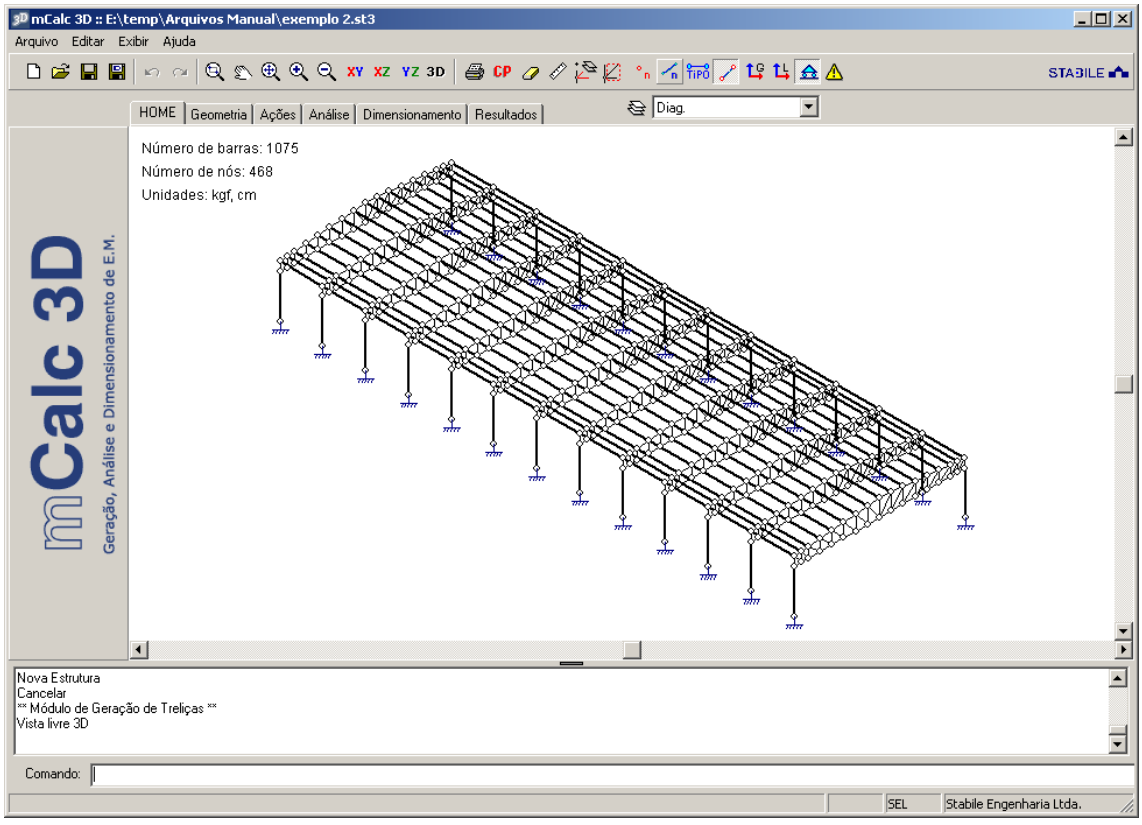


3º. Passo:

Declaram-se as áreas das barras. Deve-se declarar também o Módulo de Elasticidade (E) do aço que será utilizado no projeto.



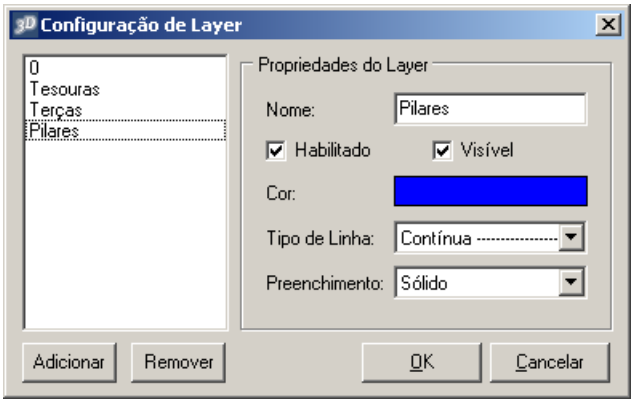
Clicando-se no botão *Concluir*, depois das declarações, o **mCalc 3D** gerará a estrutura:

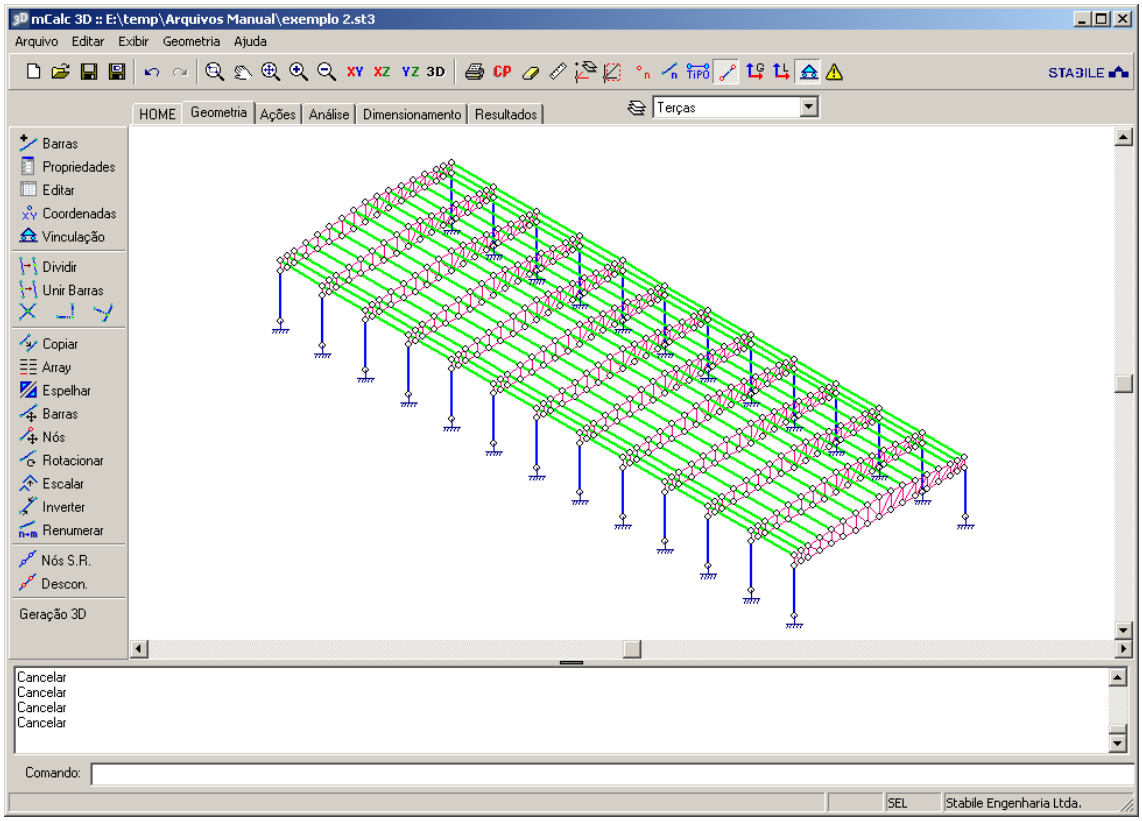


4º. Passo: **Geometria**

Para facilitar a edição e a visualização da estrutura, criaremos layers, que serão aplicados às barras. Clica-se sobre o botão de edição de layers e criam-se 3 novos layers, sugere a imagem abaixo.

Aplicam-se os novos layers às barras correspondentes: tesouras, terças e pilares.

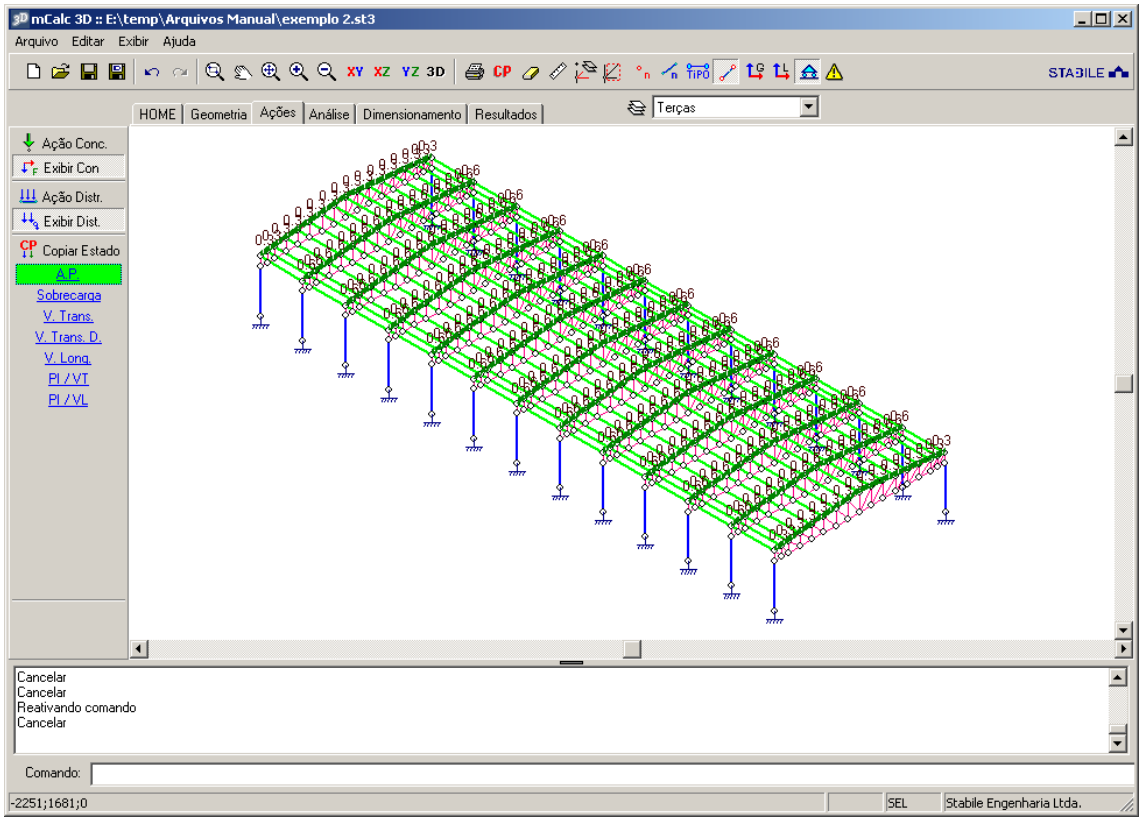




Nesse caso, por default, os nós nos apoios dos pilares já estarão vinculados com restrição nas seis direções principais (translações e rotações nas direções x, y e z). Ficando a critério do usuário manter ou alterar a vinculação.

5º. Passo: **Ações**

Passando-se para o módulo de Ações:



O **Assistente de Projetos** gerou sete estados de ações: *Ação Permanente*, *Sobrecarga*, *Vento Transversal esquerdo*, *Vento Transversal direito*, *Vento Longitudinal*, *Pressão Interna para V. Transversal* (direito ou esquerdo) e *Pressão Interna para V. Longitudinal* (de frente ou fundos).

Clicando-se sobre o nome de cada estado, no menu à esquerda, esse estado será ressaltado com uma barra verde de fundo.

Caso o usuário deseje alterar ou acrescentar ações, pode fazê-lo, conforme visto no capítulo 4.

6º. Passo: **Análise**

Passa-se para o módulo de Análise da estrutura.

Compõe-se as diversas combinações da seguinte forma:

1ª. combinação: 1.4 AP + 1.4 Sobrecarga

2ª. combinação: 0.9 AP + 1.4 VT esquerdo + 1.4 PI/VT

3ª. combinação: 0.9 AP + 1.4 VT direito + 1.4 PI/VT

4ª. combinação: 0.9 AP + 1.4 VLong + 1.4 PI/VL

Ao final de cada linha pressiona-se o botão *Adicionar*.

Ao se ter declarado todas as combinações pressiona-se o botão *Envoltória* para finalizar **Análise**.

7º. Passo: **Dimensionamento**

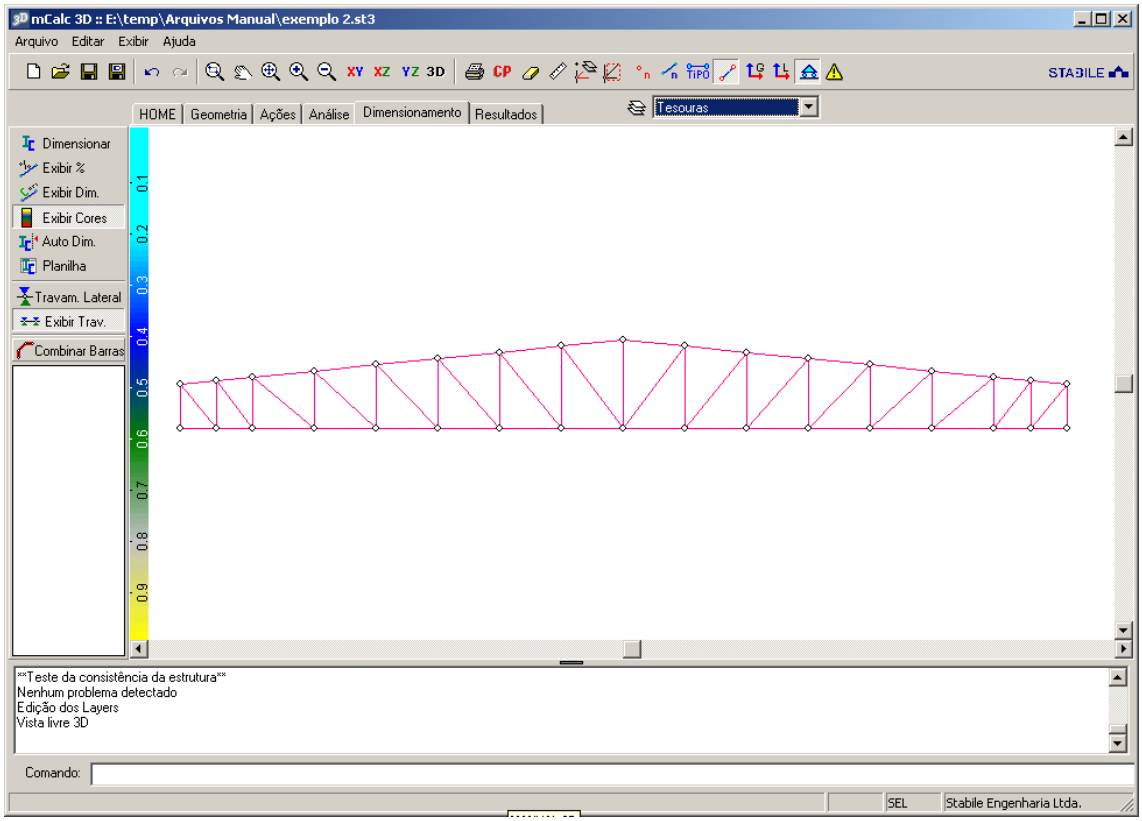
O módulo de **Dimensionamento** foi programado para trabalhar como um verificador de perfis: propõe-se um perfil e o módulo **Dimensionamento** calcula e dá a resposta em termos de *performance* do perfil: a relação $S_d/R_d\%$, i.e. a relação entre a **Solicitação de Cálculo** e a **Resistência de Cálculo**.

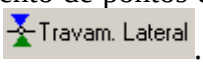
O modo de operação é:

- Clica-se sobre o comando *Dimensionar* e seleciona-se um conjunto de barras
- Confirma-se a seleção com o botão direito do *mouse*
- Escolhe-se o perfil e suas dimensões
- Escolhe-se a orientação que se quer aplicar o perfil na estrutura
- Pressiona-se os botões *Calcular* e *Aplicar* (ou *Aplicar a Todos*)

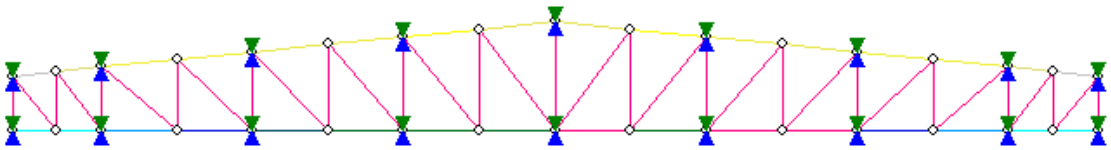
Quando um conjunto grande de barras será dimensionado com um mesmo tipo de perfil (por exemplo, diversas seções de perfil U formado a frio), passa a ser interessante o uso do comando **Autodimensionar**.

Neste caso, primeiramente, vamos manter invisíveis os layers que não correspondem as tesouras e chamar o autodimensionamento para banzos (superiores e inferiores) e diagonais:



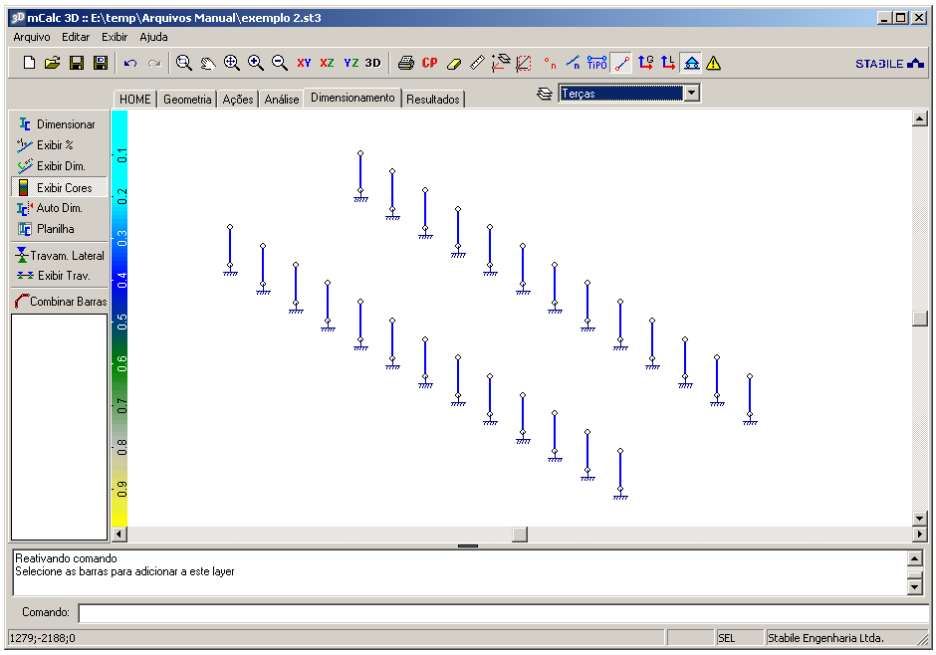
Para este exemplo, desabilitaremos na janela de preferências o travamento automático e o travamento de pontos de chegada de terças. Faz-se então, o travamento lateral através do botão 

.



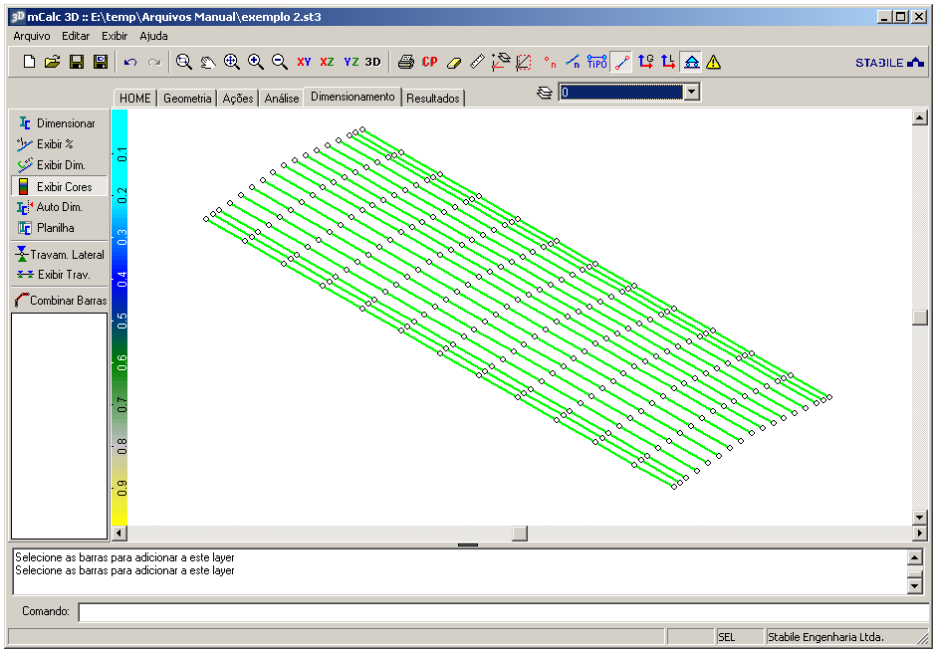
Após travar lateralmente os nós, então selecionam-se as barras do banzo superior para o comando autodimensionar e aplica-se o perfil tipo U FF com a orientado de acordo com a posição no banzo superior. O mesmo faz-se para o banzo inferior e para as diagonais.

Depois de dimensionadas as tesouras, deixam-se visíveis os pilares para dimensionar:



Usou-se o autodimensionamento e optou-se por perfil tipo I da Açominas.

Por fim habilita-se o layer das terças para dimensioná-las também.



Para as terças optou-se por perfil tipo U enrijecido.

Após o dimensionamento, e clicando sob a aba do módulo de Resultados, o programa perguntará se deseja re-analisar a estrutura. Recomenda-se que faça-se nova análise. Ao analisar a estrutura com as novas propriedades, os deslocamentos e esforços nas barras mudam, sendo necessário, algumas vezes, o redimensionamento das barras que tiveram sua capacidade de carga excedida. Repetindo o autodimensionamento algumas vezes, atualizando as propriedades e analisando a estrutura entre cada dimensionamento, obtém-se uma estrutura mais econômica e segura.

8º. Passo: **Resultados**

O módulo de **Resultados** apresenta os relatórios da *Análise* e do *Dimensionamento*.

Esses relatórios são textos que se pode editar, recortar e colar num editor de textos para personalizar a memória de cálculo, ou imprimi-lo diretamente, pressionando-se o botão *Imprimir*.

O **mCalc 3D** permite ainda visualizar o estado deformado da estrutura para cada combinação de ações. Clica-se sobre *Diagramas* para ver o estado deformado da 1ª combinação de ações e assim sucessivamente.